



Askans inverkan på beläggningstendensen i ett biobränsleeldat kraftvärmeverk och växtplatsens påverkan på askegenskaperna

*Connections between the growing site of bio fuel, the chemical
composition of bio fuel ash and the deposit growth in a bio fuel fired
boiler*

Sofia Ericson



Askans inverkan på beläggningstendensen i ett biobränsleeldat kraftvärmeverk och växtplatsens påverkan på askegenskaperna

*Connections between the growing site of bio fuel, the chemical
composition of bio fuel ash and the deposit growth in a bio fuel fired
boiler*

Sofia Ericson

Handledare: Eddie Johansson, ENA Kraft AB
Ämnesgranskare: Stig Ledin, Institutionen för Markvetenskap
Examinator: Bengt Hillring, Institutionen för Bioenergi

Abstract

This report was written by Sofia Ericson and describes the degree thesis with the title: "Connections between the growing site of bio fuel, the chemical composition of bio fuel ash and the deposit growth in a bio fuel fired boiler." The purpose of this degree thesis was to avoid melted deposit growth in the bio fuel fired boiler at ENA Kraft in Enköping.

Potassium and sodium are known to lower the melting point of bio fuel ashes and are therefore not wanted in the trees in higher amounts than necessary for the growth. Silicon is also known to be important for the deposit growth but it is not possible to say in general if higher or lower contents of silicon is better. The relation between silicon and other chemical substances is more important than the total amount of silicon.

Literature studies on the subject resulted in a hypothesis saying that bio fuels from soils with high clay content are most likely to cause deposit growth in biomass fired boilers, because of their rich content of nourishment such as for example potassium.

To confirm or reject this hypothesis, samples of soil, bio fuel and deposits were gathered and analysed. AnalyCen in Lidköping performed the analysis of the fuel samples and the deposit samples. The soil samples were analysed by the Swedish University of Agricultural Sciences in Uppsala. The melting points of the fuel ashes were analysed at Termiska Processer in Nyköping by the student performing the degree thesis.

The melting point analysis showed, all according to the hypothesis, that the fuel ash derived from the soil with high clay content melted at lower temperatures than the other ashes. Further analysis showed that the melted material contained mainly iron oxides and the fuel analyses showed that the melting sample ash had a higher content of iron oxides compared to the other sample ashes. This proves an unexpected effect of iron in bio fuel, but further soil analyses has to be done to explain the connection between the soil and the amount of iron in the trees.

Three different means were used to explain the results of the fuel analyses, the Seger formula from the ceramic industry, ratios from the glass industry and phase diagrams for systems of two or three compounds. The Seger formula can be declared insufficient in predicting melting points of bio fuel ashes because it is not considering the forming of low temperature melting eutectics. The ratios used in this degree thesis are adjusted to suit boilers with fluid beds, and they should therefore be considered to be rather uncertain when used on ashes from grate fired boilers. The use of phase diagrams is a good way to make complicated systems of melting points foreseeable, but these diagrams are not fully developed and can therefore not be used in all situations.

Förord

Med detta examensarbete avslutar jag min utbildning till civilingenjör inom Energisystem vid Uppsala universitet/Sveriges lantbruksuniversitet. Jag är glad att jag fick chansen att utföra mitt examensarbete på just ENA Kraft AB i Enköping och jag har verkligen känt mig väl mottagen där. De 20 veckorna har varit mycket lärorika och jag har samlat på mig kunskaper och erfarenheter som jag kommer att ha nytta av i mitt kommande yrkesliv.

Jag vill rikta ett varmt tack till alla som hjälpt mig under arbetets gång:

Min *handledare Eddie Johansson* för att han funnits till hands med goda råd och för att ingenting är omöjligt i hans ögon.

All personal på Värmeverket i Enköping för att de fått mig att trivas på ”jobbet”.

Min *ämnesgranskare Stig Ledin* på institutionen för markvetenskap vid SLU för att han förmedlat kontakter och väglett mig under dessa 20 veckor.

Frank Zintl på Termiska processer som under mitt besök i Studsvik samt genom våra långa maildiskussioner delat med sig av värdefulla erfarenheter inom området.

Lena Nyqvist vid Termiska processer för att hon tog hand om mig under mitt besök och såg till att allt det praktiska kring mitt arbete på Termiska processer fungerade.

Tom Ericsson på institutionen för landskapsplanering vid SLU för att han tagit sig tid att svara på mina frågor om växter och näringsupptag.

Ola Larsson på Naturbränsle i Enköping för att han lärt mig mycket om bränslets väg från skogen till värmeverket.

Bengt Axelsson och *Lars Rosengren* på AnalyCen i Lidköping för det trevliga studiebesöket där jag fick se hur de olika analyserna går till.

Slutligen vill jag tacka *Jorge* för att han på sin lediga dag åkte runt i Uppland och samlade granris med mig och även *Malin* för att hon tog sig tid att läsa och kommentera min rapport.

Sammanfattning

Målet med detta examensarbete var att undersöka hur växtplatsen påverkar trädbränslens kemiska sammansättning och vilken inverkan det får på beläggningsbildningen när bränslet förbränns i en rosterpanna. Begreppet trädbränsle avgränsades i detta fall till att innefatta endast avverkningsrester (grot) från gran.

Efter inläsning av ämnet formulerades en hypotes som sade att granar som vuxit på lerrik jord ger den grot som är mest benägen att bilda beläggningar i pannan under förbränningen. Lerrika marker har goda förutsättningar att förse växter med den näring de behöver, och ibland även mer än så, eftersom lerpartiklar håller kvar näringsämnen i ett växttillgängligt tillstånd. Näringen utgörs av baskatjoner som till exempel K^+ , Ca^{2+} .

Kalium och natrium är kända som ämnen som sänker smältpunkten hos askor, vilket innebär att de har stor inverkan på beläggningsbildningen. Även kisel är ett viktigt ämne, men dess påverkan på beläggningsbildningen är mycket komplicerad. Det är inte totalhalten kisel som är intressant utan snarare förhållandet mellan kisel och främst alkalimetallerna kalium och natrium.

För att styrka eller motbevisa hypotesen har provtagning och analys av beläggningar, jord och bränsle ägt rum. Beläggningsprover togs från fyra platser i pannan där prov tagits regelbundet i många år. Ursprungligen valdes de platserna för att det under normal drift bildas relativt mycket beläggningar där. Platser för provtagning av jord och bränsle valdes med hjälp av jordartskartor och terrängkartor som visar skogens utbredning. Fyra platser med jordarterna glacial lera, morän, "urberg" (jord i fickor på urberg) och svallgrus pekades ut på kartan och de exakta koordinaterna hittades sedan med hjälp av en GPS-mottagare. På varje plats grävdes fyra gropar och från varje grop togs två jordprov ut. Ett prov togs från blekjorden under det översta förnalagret och ett från rostjorden ungefär 30 cm längre ner. Groparna grävdes som på ett kryss med granen, från vilken bränsleprovet togs, i mitten. Bränsleproven utgjordes av grenar växande nära marken på den utvalda granen.

Beläggningar och bränsleprover skickades till analysföretaget AnalyCen i Lidköping för analys av askoxider och spårämnen. Jordproverna analyserades av institutionen för markvetenskap vid Sveriges lantbruksuniversitet i Uppsala och där bestämdes pH-värde, mängd lösliga katjoner och mängd utbytbara katjoner.

De inaskade bränsleprovens smälttemperatur undersöktes av examensarbetaren själv på Termiska Processer utanför Nyköping. Där användes två olika metoder, nämligen roterugn och uppvärmning i stillastående deglar.

Smältpunktsförsöken vid Termiska Processer visade, helt enligt hypotesen, att den "lerväxta" granens aska började visa tecken på smältning redan vid 800 °C. Askan från den gran som vuxit på "urberg" visade tveksamma tecken på begynnande smältning vid 950 °C, medan ingen smältning alls kunde observeras för askorna från de granar som vuxit på morän och svallgrus.

Analys av smältan från ”lerprovet” med hjälp av svepelektronmikroskop visade att smältan huvudsakligen bestod av järnoxider. I ytterlagret fanns även en del andra ämnen som förmodligen hade fastnat i de klibbiga järnoxiderna. Bränsleanalyserna som utfördes av AnalyCen visade att det askprov som gav smältan innehöll överlägset högst halt järn både i inaskat och färskt tillstånd.

Bränsleanalyserna visade även att halten kalium, natrium och kalcium var ungefär den samma för alla prover, utom för prov 5 som innehöll mer barr än de övriga proven. Viss variation i kiselhalten kunde observeras, men inget naturligt mönster hittades i dessa variationer.

Bränsleanalyserna utvärderades med hjälp av tre olika verktyg. Ett av dem var Segerformeln, som är det verktyg som keramikerna använder när de sätter samman recept för glasyrer. Segerformeln gav ingen förklaring till de analyserade askornas smältbeteende och det kunde konstateras att Segerformeln är otillräcklig för att bedöma belägningsbenägenheten hos bränsleaskor. Detta eftersom den inte tar hänsyn till bildning av lågsmältande blandfaser (eutektikum). Nyckeltal är ett annat verktyg som ursprungligen kommer från glasindustrin men har omarbetats på Termiska Processer för att kunna tillämpas på bränsleaskor. Inte heller med hjälp av dessa kunde resultaten från smältpunktsundersökningarna förklaras. Nyckeltalen har främst anpassats för utvärdering av askor från fluidpannor med sandbädd, vilka har en betydligt högre kiselhalt än aska från rosterpannor eftersom bäddsand till stor del utgörs av kiseloxider. Nyckeltal som innehåller järn anses dessutom vara osäkra eftersom järn kan oxideras på många olika sätt och ofta förekommer i flera olika oxidformer samtidigt. Detta gör det svårt att veta vilken form man ska använda för att få ett rättvist beräkningsresultat och nyckeltal innehållande järn används därför i regel inte vid tolkning av en askas smältbeteende. Slutligen användes även binära och ternära tillståndsdigram för att utvärdera bränsleanalyserna. Detta är ett bra verktyg som visar ”fallgropar” (förhållanden som kan leda till lågtemperatursmältande blandfaser) för mycket komplicerade system på ett överskådligt sätt. Nackdelen med tillståndsdigram är att de i många fall är dåligt utvecklade och därför inte kan användas i alla situationer. I detta fall gav inte heller tillståndsdigrammen någon förklaring till provaskornas beteende.

Detta examensarbete har visat att det krävs fortsatt arbete för att komma underfund med om bränsle som vuxit på lerrik mark är mer belägningsbenäget än annat bränsle. Hög järnhalt i bränslet har visat sig innebära stor risk för bildning av eutektikum av järnoxider. Vilket samband som finns mellan marktyp och trädens upptag av järn har däremot inte klargjorts i detta arbete. För att klargöra det bör man exempelvis undersöka halten organiskt material i marken. Ytterligare provtagning och analys av bränsle och jord krävs även för att sambanden mellan marktyp och upptag av exempelvis kalium, natrium, kalcium och kisel ska kunna fastställas.

Utöver detta bör även utvärderingsmetoderna ses över. Fortsatt utveckling av lämpliga tillståndsdigram samt anpassning av nyckeltal till rosterpannor är exempel på åtgärder som kan underlätta det fortsatta arbetet avsevärt.

Innehållsförteckning

1	Inledning	1
2	Mål.....	2
3	Avgränsning	2
4	Metod.....	2
5	ENA Kraft AB	3
5.1	Anläggningen.....	3
6	Påslag	4
6.1	Vilka ämnen är viktiga vid påslagsbildning?	6
7	Keramikindustrin och Segerformeln.....	8
7.1	Hur räknar man med Segerformeln?	9
7.2	Varför är Segerformeln viktigt för detta examensarbete?	9
8	Nyckeltal	11
8.1	Hur räknar man med nyckeltalen?	12
8.2	Varför är nyckeltalen viktiga för detta examensarbete?	13
9	Jordens mineraler - trädens näring	14
9.1	Ämnenas ursprung och förekomst	15
10	Hypotes.....	19
11	ENA Krafts bränsle.....	20
11.1	Sort och ursprung	20
11.2	Bränslets spårbarhet.....	20
12	Provtagning	22
12.1	Beläggningar.....	23
12.2	Jord	24
12.3	Bränsle	25
13	Analys	26
13.1	Beläggningar.....	26
13.2	Jord	26

13.3	Bränsle	26
14	Resultat och tolkning.....	31
14.1	Beläggingsanalyser	31
14.2	Jordanalyser	32
14.3	Bränsleanalyser.....	33
15	Tillståndsdigram	42
15.1	Hur använder man ett ternärt tillståndsdigram?	42
15.2	Tillståndsdigram för järn	44
16	Diskussion.....	45
17	Slutsats.....	47
17.1	Fortsatt arbete	48
18	Referenser.....	49
18.1	Muntliga	49
18.2	Tryckta.....	49
18.3	Internet.....	49

Bilagor

- 1 Nyckeltal**
- 2 Viktningsstal för beräkning med nyckeltal**
- 3 Exempel terrängkarta och jordartskarta**
- 4 Beläggningsanalys övre näsan**
- 5 Beläggningsanalys övre näsan (inre)**
- 6 Beläggningsanalys hängande överhettare**
- 7 Beläggningsanalys panngavel**
- 8 Beläggningsanalys inkastare**
- 9 Analys jordprover**
- 10 Data för fukt- och askhaltsberäkning**
- 11 SEM-analys av smälta**
- 12 Bränsleanalys gran 1**
- 13 Bränsleanalys gran 2**
- 14 Bränsleanalys gran 3**
- 15 Bränsleanalys gran 4**
- 16 Bränsleanalys gran 5**

1 Inledning

Vid förbränning av biobränsle uppstår under vissa förutsättningar klibbiga eller glasartade beläggningar i pannan på grund av att aska och askföreningar smälter. Beläggningen uppstår när de helt eller delvis smälta partiklarna fastnar på ytor i pannan och beläggningarna kan sedan byggas på av stoft och opåverkade askpartiklar som fastnar i det klibbiga. Detta orsakar problem i form av försämrade värmeöverföring och korrosion på materialytor. Kraftig beläggningsbildning kan även medföra att täta driftstopp för rengöring av pannan blir ett måste, vilket är mycket kostsamt. Beläggningstendensen i en panna påverkas av flera olika faktorer, bland annat temperaturfördelning, pannans dimensionering och geometriska utformning, luft- och rökgasflöden samt rökgashastigheter. Dessutom har askans kemiska sammansättning mycket stor betydelse, eftersom vissa askämnen och askföreningar har lägre smältpunkt än andra och följaktligen orsakar beläggningar vid lägre temperaturer. Aska innehåller ett flertal ämnen som under tillväxtperioden utgör viktig näring för träden som de genom sitt rotsystem tar upp ur jorden. Näringsinnehållet i jorden är olika på olika platser i Sverige till stor del beroende av vilken berggrund som förekommer och hur vittringsprocessen ser ut. Vattenflöden i marken har också stor betydelse eftersom vattnet kan föra med sig vittrade ämnen långa sträckor. Till följd av detta är det logiskt att även trädens näringsinnehåll beror av odlingsplatsen, vilket även avspeglas i den aska som finns kvar efter förbränning av ett träd. Som tidigare nämnts är askans sammansättning viktig ur beläggningssynpunkt och det bör därför vara så att vissa geografiska områden lämpar sig bättre för odling av biomassa för energiframställning än andra.

ENA Kraft AB utgörs av en flispanna som producerar värme och el parallellt i en så kallad kraftvärmeprocess. Den värme som produceras distribueras på ett fjärrvärmenät som värmer upp en stor del av Enköpings bostadshus och fastigheter. Värmebehovet i Enköping är (som i alla andra svenska städer) kraftigt säsongsberoende på grund av variationerna i utetemperatur. Vintertid, när det är kallt ute behövs mycket värme och pannan går på full effekt så ofta som möjligt. Höst och vår är behovet av värme mindre och pannan belastas inte lika hårt. Under högsommaren används en mindre pelletspanna för att tillgodose det lilla värmebehov som då finns och flispannan ställs då av för rengöring och revision.

2 Mål

Med hjälp av kunskaper införskaffade genom detta examensarbete hoppas ENA Kraft AB kunna undvika problem med beläggningar i sin biobränslepanna i framtiden. Målet är att ta reda på om och hur växtplatsen påverkar bränslets egenskaper med avseende på beläggningstendens, det vill säga om det är möjligt att kvalitetsklassa olika marktyper utifrån deras förmåga att leverera bränsle som är skonsamt mot pannan. Om det kan visas att växtplatsen har stor inverkan på bränslekvaliteten är förhoppningen att "lågkvalitativt bränsle", som medför stor risk för beläggningsbildning i pannan, ska kunna förbrukas höst och vår när belastningen av pannan inte är så stor. Det "högkvalitativa bränslet" vill man däremot spara till de kallaste vintermånaderna, när värmebehovet är stort och det är viktigt att produktionen löper problemfritt. För att avgöra om en sådan bränslehantering över huvudtaget är möjlig måste även bränslets spårbarhet undersökas.

3 Avgränsning

Arbetet har begränsats till att omfatta endast gran eftersom största delen av den grot (grenar och toppar) som levereras till ENA Kraft är just gran. Groten kommer ofta från blandskog med gran och tall, men eftersom granens grenverk volymmässigt är överlägset tallens blir det mest granris kvar när stamveden har tagits omhand. Enstaka lövträd kan också ge bidrag till grotuttaget, men det bidraget antas vara obetydligt litet. Vid provtagning har alltså endast biomassa från gran tagits. Mängden uttagna prov har begränsats till fyra stycken uttagna på fyra olika platser med olika jordarter. Beläggningsbildningen i en biobränslepanna påverkas av en rad olika faktorer (se avsnittet om påslag) men i detta arbete har hänsyn tagits endast till bränslets och följaktligen askans kemiska sammansättning och dess påverkan på smälttemperaturen.

4 Metod

Arbetet inleddes under juni månad med litteraturstudier som skulle ge en övergripande bild av varför det bildas beläggningar i pannor och vilka ämnen som är viktiga i processen. När kunskaper om detta var införskaffade på ett teoretiskt plan var det möjligt att börja bygga upp teorier om i vilka marker och följaktligen i vilka träd de utpekade ämnena bör kunna hittas i störst mängd. Under arbetet med den övergripande förståelsen av beläggningsbildning och växters näringsupptag konsulterades flera inom ämnet kunniga personer från näringslivet och universitetsvärlden. För att kontrollera korrektheten i de framarbetade teorierna har provtagning ägt rum. Beläggningar från pannan, jord från utvalda hyggen och skogspartier samt biomassa från samma platser har samlats in och analyserats med professionella metoder. Slutligen har analysresultaten utvärderats för att se hur väl verkligheten stämmer överens med teorin.

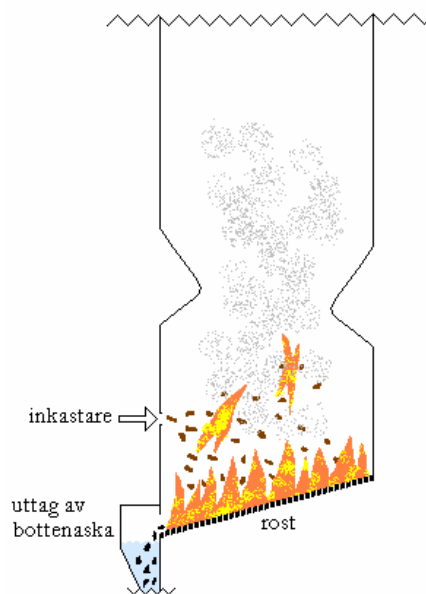
5 ENA Kraft AB

1992 inleddes byggnationen av ett bibränsleeldat kraftvärmeverk i Enköping och bolaget ENA Kraft AB bildades. Anläggningen, som har 55 MW installerad värmeeffekt och 24 MW installerad eleffekt, har sedan driftstarten 1995 stått för huvuddelen av värmeproduktionen (ca 200 000 MWh per år) i Enköpings stad. Sedan 1999 säljs de ca 85 000 MWh elenergi som ENA Kraft årligen producerar på den nordiska elmarknaden Nordpool. Ägandet av ENA Kraft AB delades tidigare lika mellan AB Enköpings Värmeverk och Mälarenergi AB, men sedan juni 2004 ägs ENA Kraft AB till 100 % av AB Enköpings Värmeverk.

Energiproduktionen inom ENA Kraft bör betraktas som miljövänlig eftersom bränslet nästan uteslutande är flis av trädbränslen blandat med salix. Dessutom renas rökgaserna från stoft i ett elektrofilter och ammoniakinsprutning reducerar mängden kväveoxider som släpps ut med rökgaserna. Någon enstaka procent av den årliga bränsleförbrukningen utgörs av olja, vilket är nödvändigt för att man ska lyckas starta flispannan på ett enkelt sätt utan allt för mycket manuellt arbete.

5.1 Anläggningen

ENA Krafts bibränslepanna är en ångpanna som producerar både värme och el parallellt. Ångan, som när den kommer från pannan är 540 °C varm och har ett tryck på ca 100 bar, passerar först turbinerna som driver generatoren för elproduktion. Med hjälp av ånguttag från lågtrycksturbinen värms sedan fjärrvärmenätets vatten via värmeväxlare till minst 80 °C (beroende på utetemperaturen). Pannans ångproduktion anpassas efter fjärrvärmeabonnenternas värmebehov och under varmare perioder begränsas därför även elproduktionen till en låg nivå. Under drift tillförs bränsle kontinuerligt genom de fyra inkastarna på pannans ena vägg. En stor del av bränslet förgasas och förbränns genast i luften, medan större och mer svårförbrända bitar faller ner till pannans botten. Där fortsätter förbränningen på en rost med täta lufthål för kylning och för intag av primärluft. Rosten är sned och vibrerar var sjätte minut för att all bottenaska ska samlas i en ränna längs med rostens låga kant så att den lätt kan forslas bort. Rännan är fylld med vatten, dels för att man vill släcka den aska som fortfarande glöder, men framförallt för att hindra att kall luft som stör förbränningsförloppet sugas in i pannan via askuttaget. Mer än hälften av askan utgörs av flygaska som följer med rökgaserna genom pannan och så småningom fångas upp i elektrofiltret.



Figur 1. Panna med sned rost.

6 Påslag

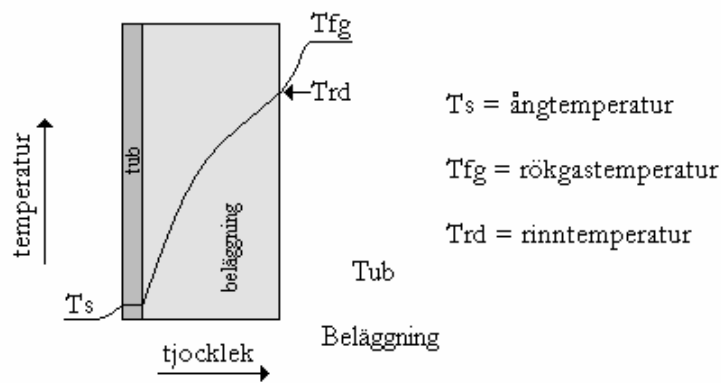
Beläggningar, eller påslag som de också kallas, bildas när stoft och askpartiklar av olika anledningar fastnar på ytor inne i pannan. Detta vill man i största möjliga mån undvika eftersom beläggningarna orsakar en rad olika problem, bland annat de som nämns nedan:

- **Försämrad värmeöverföring**
Beläggningar på pannväggarna hindrar värmeöverföringen till tuberna, vilket innebär att temperaturen på rökgaserna inne i pannan blir högre och det försämrar pannans verkningsgrad.
- **Högre NO_x-utsläpp**
Varmare rökgaser kan innebära att produktionen av termiska kväveoxider (det vill säga föreningar mellan förbränningsluftens kväve och syre) ökar.
- **Korrosion**
Vissa typer av beläggningar orsakar korrosion på de pannnytor de fäster på, eller förhöjer risken för att andra ämnen ska orsaka korrosion.
- **Materialsador**
Stora sintrade (se förklaring sid. 5) beläggningar som lossnar från pannväggen kan falla ner och orsaka materialsador i pannan.
- **Lastsänkning/avstängning**
Vid allvarliga fall av beläggningsbildning kan det bli nödvändigt att minska lasten för att undvika allt för höga rökgastemperaturer. I extrema fall kan man bli tvungen att stoppa pannan för rengöring.

Påslag bildas på olika sätt beroende på vilka ämnen som ingår i bränslet, vilken typ av panna bränslet eldas i, vilka temperaturer som förekommer och så vidare. Påslagsbildningen kan delas in i sex olika faser som presenteras nedan (Kallner, Zintl & Engvall 1999).

- **Frigörelse av påslagsbildande komponenter**
Vid förbränningen av bränslet frigörs ämnen som sedan medverkar i beläggningsbildningen.
- **Kemisk omvandling av askkomponenter**
Det finns flera olika typer av påslag, varav en del förutsätter en kemisk förening mellan de inblandade ämnena. Ofta är det de frigjorda ämnena (som beskrivs i föregående punkt) som reagerar kemiskt genom exempelvis oxidation, saltbildning eller glasbildning.
- **Transport av påslagsbildande komponenter till pannnytor**
En del av de påslagsbildande komponenterna följer med rökgaserna genom pannan i form av gas eller partiklar.
- **Initieringsperiod**
Ett första lager påslag bildas enligt något av följande förlopp:
 - Kondensering av salter på kallare pannnytor.
 - Klibbiga partiklar med yta av smält material fastnar på pannnytor.
 - Fina partiklar utan klibbig yta fastnar på pannnytor genom termofores, vilket är en fysikalisk effekt som innebär att partiklarna binds till kalla pannnytor genom elektrostatiske bindningskrafter. Dessa påslag påminner om porös

- sandsten och kan vara så lösa att de faller sönder vid beröring.
- Tillväxtperiod
Påslaget blir tjockare och tyngre på grund av att askpartiklar och stoft fastnar i den klubbiga beläggningen.
- Stagnationsperiod
Påslagets tillväxt avstannar, exempelvis på grund av att beläggningsslagret har blivit så tjockt att reaktionsytan nu befinner sig längre ifrån tubväggen, vilket innebär att temperaturen är högre. Reaktionsytans temperatur varierar med tjockleken på beläggningen enligt figur 2. Beläggningen är som tjockast just innan rinntemperaturen uppnås, det vill säga den temperatur vid vilken beläggningen blir flytande och rinner ner för pannväggen.



Figur 2. Temperaturförändring som funktion av beläggningens tjocklek.

Två vanliga typer av beläggningar som kan uppkomma i pannan är, som tidigare nämnts, glasbildning och bildning av saltsmältor. Glasbildning innebär att askoxider (främst K_2O och CaO) reagerar med kiseldioxid (SiO_2) och bildar föreningar som smälter vid låga temperaturer. Dessa smältor kan sedan stelna till glasartade klumpar av varierande storlek och när det har gått så långt säger man att askan har sintrat. I pannor med fluidiserande sandbädd är det vanligt att sintring förekommer i bädden (eftersom sanden i bädden till mycket stor del utgörs av kiseloxider), men glasbildning kan förekomma även i pannor med rost. Askoxiderna, som bildas vid förbränningen reagerar då istället med kiseloxid som härstammar från bränslet eller från sand och grus som följt med bränslet in i pannan. Innan kiselföreningarna har stelnat till glas är de klubbiga och fastnar gärna på ytor i pannan. Stoft och askpartiklar kan i sin tur fastna i glassmältan och bygga på påslaget.

Kalium, kalcium och natrium är aktiva även vid påslagsbildning i form av saltsmältor, oftast tillsammans med de negativa motjonerna klor, svavel och fosfor. Om det exempelvis finns mycket klor i bränslet har det förmågan att frigöra alkalimetaller och kalcium från bränslet under förbränningen genom att bilda salter som exempelvis KCl . Dessa gasformiga salter följer med rökgaserna genom pannan och när de träffar på kallare ytor kondenserar saltet och bildar en klubbig beläggning på pannytan. Små askpartiklar och stoft som virvlar runt i pannan

fastnar sedan i de kletiga saltsmältorna och beläggningarna byggs på och blir allt större. I samband med saltsmältor förekommer ofta korrosion orsakat antingen av beläggningen själv eller av något annat ämne som beläggningen bereder väg för.

Det är även fullt möjligt att askpartiklar smälter helt eller delvis utan att någon kemisk reaktion har ägt rum. Partiklarna blir då klubbiga och fastnar lätt ihop med varandra eller andra opåverkade askpartiklar eller bäddmaterialpartiklar. En enhet av sammanklibbade partiklar kallas agglomerat och kan vara ett förstadium till glasbildning (sintring).

Ofta uppkommer beläggningar till följd av att ett kritiskt mängdförhållande mellan två eller flera ämnen har uppstått. Ett kritiskt mängdförhållande kan exempelvis innebära att två eller flera ämnen tillsammans bildar en blandfas med lägre smälttemperatur än de ingående ämnenas egna smälttemperaturer. En sådan blandning kallas ett eutektikum.

6.1 Vilka ämnen är viktiga vid påslagsbildning?

Som beskrivs i avsnittet ovan spelar exempelvis vissa alkalimetaller en viktig roll i samband med beläggningsbildning. För att kunna undvika att beläggningar bildas i pannan är det naturligtvis viktigt att förstå vilka ämnen och vilka kombinationer av ämnen som orsakar problemen.

6.1.1 Kisel

Enligt beräkningar med Segerformeln och nyckeltal (se sidan 8 och 11) höjer kisel smälttemperaturen hos askblandningar och om man förlitar sig på dessa beräkningsmetoder borde alltså stora mängder kisel i askan kunna förhindra att redan sammanbundna askpartiklar sintrar. Om så är fallet kan man tänka sig att kiselrika beläggningar är porösa och sammanbundna genom termofores, vilket innebär beläggningar som utgör ett mindre problem eftersom de är lätta att ta bort och ofta faller sönder av sig själva utan att man behöver ingripa. Men å andra sidan är kisel en viktig beståndsdel vid glasbildning och en helt kiselfri aska skulle därför vara absolut bäst. Men kisels inverkan på beläggningsbildningen är mycket komplicerad. Det går inte att säga om mycket eller lite kisel är bäst ur beläggningssynpunkt, utan viktigast är förhållandet mellan kisel och alkali. I ett försök till sammanfattning av kiselns roll vid beläggningsbildning skulle man kunna säga att inget kisel alls innebär minst risk för beläggningsproblem i pannan. Men när beläggningar redan har bildats är ett högt kiselinnehåll i dessa att föredra eftersom beläggningarna då blir porösare. Om förhållandet mellan kisel och alkali är känt kan man använda tillståndsdigram (se sidan 42) för att utvärdera risken för beläggningsbildning.

6.1.2 Alkalimetallerna Kalium (K) och Natrium (Na)

Dessa alkalimetaller medverkar både vid bildning av saltsmältor och vid glasbildning och är därmed mycket viktiga ämnen vid beläggningsbildning i allmänhet och för detta examensarbete i synnerhet. Alkalipartiklarna kan även smälta i egen ren form, det vill säga utan att en kemisk förening med något annat ämne har ägt rum. Segerformeln och nyckeltalen är överens om att en hög andel

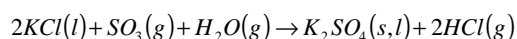
alkali sänker smälttemperaturen hos en beläggning. Natrium förekommer i betydligt mindre mängd än kalium i grot och påverkar därför askans smälttegenskaper mindre. Men i undantagsfall är natriumhalten i grot ändå så pass hög att den får betydelse, till exempel i träd som växt nära havet och blivit utsatta för saltvatten.

6.1.3 Kalcium (Ca)

Kalciums påverkan på beläggningstendensen är något komplicerad. Små mängder Kalcium anses sänka smälttemperaturen, medan stora mängder bidrar till bildningen av blandfaser med höga smälttemperaturer (Zintl & Ljungdahl 2002). Kalciuminnehållet i skogsbränsle är dock som regel "tillräckligt" högt och antas därför inte ha någon negativ inverkan på askans smälttemperatur. I teorin skulle man kunna höja askans smälttemperatur genom att tillsätta mer kalcium, men det är inte helt problemfritt. Oreagerad bränd kalk kommer då att finnas i askan och den släcks i kontakt med vatten under kraftig värmeavgivning. Dessutom kan kalken börja härda, vilket inte är önskat (Zintl & Ljungdahl 2002).

6.1.4 Klor (Cl), Svavel (S) och Fosfor (P)

Dessa tre ämnen kan bilda salter tillsammans med alkalimetaller och kalcium som i vissa fall kondenserar på kallare ytor i pannan och orsakar korrosion. De kondenserade salterna smälter vid olika temperaturer beroende på vilka ämnen som ingår i föreningen. Till exempel smälter KCl vid 750°C, medan K₂SO₄ smälter först vid 1069°C (Kallner, Zintl & Engvall 1999). Med avseende på smälttemperaturen är därför saltbildning med svavel att föredra framför saltbildning med klor. Men om svavel tillsätts när KCl redan har bildats kommer svavlet konkurrera ut all klor för att själv bilda salt med kalium. När svavlet "tar över" frigörs klor som tillsammans med väte kan bilda saltsyra (HCl) som kan vara skadligt för pannan. Nedan visas reaktionsformeln för det som händer när svavel tillsätts i ett sent skede (Kallner, Zintl & Engvall 1999).



6.1.5 Zink (Zn) och Bly (Pb)

I likhet med alkalimetallerna kalium och natrium kan zink och bly verka smältpunktssänkande. Zink kan bli ett problem framförallt vid förbränning av returvirke eftersom vissa typer av målarfärg innehåller mycket zink (Berg 2004). Bly finns endast i små mängder i grot och alkalimetallernas bidrag till beläggningar och korrosion är som regel betydligt större än det bidrag både zink och bly kan ge.

6.1.6 Järn (Fe)

Järn är i litteraturen inte omnämnt som ett ämne av stor vikt i samband med beläggningsbildning, men har i detta examensarbete visat sig ha en central roll. Järn kan bilda eutektikum tillsammans med en rad andra ämnen och dessa förlopp är ganska väl undersökta eftersom det har varit viktigt inom stålindustrin att förstå smältförloppen i masugnarna.

7 Keramikindustrin och Segerformeln

(Fredholm 2004)

Inom keramikindustrin har man i hundratals år använt blandningar av naturliga leror och mineraler för att glasera keramikföremål. Glasyr består främst av kvarts, det vill säga kiseldioxid som ger glasyren styrka och hårdhet. För att göra glasyren mer trögflytande tillsätter man oftast aluminium, eftersom glasyren om den är för lättflytande inte kan få fäste på keramikytan. För att sänka glasyrens smälttemperatur tillsätter man så kallade flussämnen, som även styr färgnyans och blankhet. För att hitta rätt kombination av de ovan nämnda komponenterna använder keramikerna den så kallade Segerformeln. Formeln har fått sitt namn efter den tyske silikatkemisten Herman Seger som på slutet av 1800-talet presenterade den som ett värdefullt hjälpmedel vid glasyrframställning. Seger delade in glasyrkomponenterna i tre olika grupper utifrån deras egenskaper (syragruppen, stabilisatorgruppen och basgruppen). Syragruppen innehåller svårsmälta glasbildande ämnen som till exempel kvarts (kiseldioxid). Stabilisatorgruppen innehåller neutrala ämnen som inte påverkar smältpunkten, men som höjer glasyrens viskositet. Exempel på en viktig stabilisator är (som beskrivits ovan) aluminium. Den tredje gruppen kallas baser och utgörs av flussämnena som bland annat är kalium, natrium och kalcium. Med hjälp av Segerformeln kan man genom att utgå från de viktprocent som väljs av ämnen från de olika grupperna beräkna ett förhållande mellan syra och bas som ger ett tal som beskriver smältpunkten. På samma sätt ger förhållandet mellan syra och stabilisator ett mått på blankheten. I tabell 1 presenteras de tre grupperna och en stor del av de ämnen som de innefattar. Ämnena kan förekomma i olika former, till exempel som karbonat, fosfat eller oxid.

Tabell 1. Ämnesuppdelning enligt Seger.

Bas		Stabilisator		Syra	
Kalcium	Ca	Aluminium	Al	Kisel	Si
Antimon	Sb			Titan	Ti
Barium	Ba			Zink	Zn
Kalium	K			Zirkon	Zr
Litium	Li				
Magnesium	Mg				
Natrium	Na				
Tenn	Sn				
Strontium	Sr				

7.1 Hur räknar man med Segerformeln?

Om man vill använda sig av Segerformeln börjar man lämpligtvis med att bestämma vilka ämnen som ska ingå i glasyren, deras kemiska formel och molvikt samt hur stor andel av den totala glasyrvikten varje ämne ska utgöra. Mängden av varje ämne anges alltså som viktprocent av den totala mängden glasyr och naturligtvis ska dessa procentsatser tillsammans kunna summeras till 100 %. Glasyren skulle exempelvis kunna innehålla natronfältspat som har den kemiska formeln Na_2O Al_2O_3 6SiO_2 . Molvikten kan då beräknas till:

$$\begin{aligned} m(\text{natronfältspat}) &= (2 \cdot m_{\text{Na}}) + (2 \cdot m_{\text{Al}}) + (6 \cdot m_{\text{Si}}) + ((1 + 3 + 12) \cdot m_{\text{O}}) \\ &= (2 \cdot 22,9) + (2 \cdot 27,0) + (6 \cdot 28,1) + (16 \cdot 16,0) = 524,4 \text{ g/mol} \end{aligned}$$

Därefter ska det relativa moltalet (mtr) beräknas. Till skillnad från det verkliga moltalet kan det relativa moltalet beräknas utan vetskap om hur mycket 100 % vikt motsvarar. Det relativa moltalet gör det alltså möjligt att jämföra halterna av de olika glasyrkomponenterna dimensionslöst. Relativa moltalet fås genom att viktprocenten divideras med ämnets molvikt och multipliceras med 100. Multiplikationen med 100 har endast till syfte att göra siffrorna mer lätthanterliga och påverkar inte slutresultatet eftersom det bygger på kvoter mellan relativa moltal. Om man antar att glasyren ska innehålla 40 % natronfältspat kan alltså relativa moltalet för natronfältspat beräknas enligt följande:

$$\text{mtr}(\text{natronfältspat}) = \left(\frac{40}{524,4} \right) \cdot 100 = 7,628$$

Nästa steg är att placera glasyrkomponenterna i rätt grupp. Natronfältspat innehåller både bas, stabilisator och syra och med hänsyn tagen till hur många mol av respektive oxid som behövs för att bilda Natronfältspat ser uppdelningen ut enligt följande:

Tabell 2. Exempel på uppdelning av ämne i bas, syra och stabilisator enligt Seger.

Bas	Stabilisator	Syra
$\text{Mtr}(\text{Na}_2\text{O}) = 7,628$	$\text{mtr}(\text{Al}_2\text{O}_3) = 7,628$	$\text{mtr}(\text{SiO}_2) = 6 \cdot 7,634 = 45,767$

Motsvarande beräkning av relativt moltal samt gruppuppdelning utförs för alla ämnen som ska ingå i glasyren och tabellen ovan fylls på. Genom att addera de relativa moltalen i varje kolumn kan man sedan lätt få fram ett förhållande mellan syra och bas, som beskriver smältpunkten och ett förhållande mellan syra och stabilisator som visar hur blank glasyren kommer att bli.

7.2 Varför är Segerformeln viktigt för detta examensarbete?

Både inom keramikindustrin och i energibranschen finns ett behov av att kunna kontrollera smälttemperaturen hos glasyr respektive aska. Keramikerna vill skapa den bästa glasyrytan på sina keramikföremål, medan man inom energibranschen vill lära sig hur man ska agera för att slippa smältande askor i pannan.

Segeformeln är det verktyg keramikerna använder för att förutspå smältning och eftersom glasyr innehåller i stort sett samma saker som askan från biobränslepannor bör Segeformeln gå att tillämpa även på bränsleaskor. Formeln kan ge vägledning om vilka ämnen som sänker, respektive höjer smälttemperaturen och därigenom en uppfattning om vilken asksammansättning som är att föredra. Segeformeln ger ingen exakt smälttemperatur utan ett tal som beskriver förhållande mellan syra och bas. Det är dock fullt tillräckligt för att man ska kunna jämföra olika askors egenskaper och se hur förändringar i asksammansättningen förändrar smälttemperaturen. Genom att först beräkna förhållandet för den ursprungliga askan och sedan se hur förhållandet förändras när något ämne tas bort från eller tillförs askan kan man få en god uppfattning av hur ämnet påverkar smältpunkten. Om förhållandet blir större innebär det att förändringen i asksammansättningen var bra (åtminstone om man vill undvika smältor), eftersom smälttemperaturen blev högre. Om förhållandet blir mindre innebär det däremot att förändringen var negativ i det avseendet att askan kommer att smälta vid en lägre temperatur.

8 Nyckeltal

Medan keramikindustrin använder sin Segerformel (som kanske även skulle kunna tillämpas på bränsleaskor) finns det för energibranschen ett annat sätt att förutspå smältning och beläggingsbildning. Det är såkallade nyckeltal som har sitt ursprung inom glasindustrin och sedan har anpassats för utvärdering av bränsleaskor (främst askor från pannor med fluidiserande sandbädd). Med hjälp av dessa tal är det möjligt att bilda sig en uppfattning om vilka ämnen som kan komma att ställa till problem i pannan vid förbränning. Nyckeltalen är (precis som Segerformeln) kvoter mellan relativa moltal som gör det möjligt att identifiera kritiska mängdförhållanden mellan olika ämnen i askan.

Ett exempel på nyckeltal är förglasningstalet (sodaglastalet) som beskriver hur stor risken för bildning av lågsmältande glasfaser är (Kallner, Zintl & Engvall 1999).

$$\text{förglasningstalet} = \frac{2(K^* + Na^*)}{3Si^*}$$

* = viktat relativt moltal

Förglasningstalet tolkas enligt nedan:

0,5 – 1: Stor risk för bildning av lågsmältande glasfaser (smältpunkt runt 750°C).

0,25 – 0,5 och >1: mindre risk

<0,25: liten risk (liten andel smälta)

Det finns även två eutektikumstal, det vill säga nyckeltal som ger vägledning om hur stor risken är för att det ska bildas eutektikum vid det aktuella blandningsförhållandet (Kallner, Zintl & Engvall 1999).

$$\text{eutektikumstal 1} = \frac{K^*}{K^* + Na^*}$$

* = viktat relativt moltal

Eutektikumstal 1 tolkas enligt nedan:

nära 1 eller nära 0: bra (Liten risk för lågsmältande blandfaser av kalium och natrium.)

0,2 – 0,9: dåligt (Stor risk för lågsmältande blandfaser av kalium och natrium.)

$$\text{eutektikumstal 2} = \frac{Ca^*}{Ca^* + Mg^*}$$

* = viktat relativt moltal

Eutektikumstal 2 tolkas enligt nedan:

nära 1 eller nära 0: bra (Liten risk för lågsmältande blandfaser av kalcium och magnesium.)

Nära 0,5: mindre bra (Viss risk för lågsmältande blandfaser av kalcium och magnesium.)

Utöver de ovan nämnda nyckeltalen finns en mängd andra som presenteras i bilaga 1.

8.1 Hur räknar man med nyckeltalen?

Om man vill undersöka en askas smältegenskaper med hjälp av något nyckeltal måste man ta reda på hur många viktprocent av respektive ämne askan innehåller samt molmassan för alla ingående ämnen. Precis som i fallet med Segerformeln vill man jämföra halterna dimensionslöst (vilket inte är möjligt om man använder exakta moltal) och beräkningen sker därför med relativa moltal (mtr). Hur beräkningen av relativa moltal går till visas i avsnittet om Segerformeln (se sidan 16) och tas därför inte upp här.

Om man exempelvis vill beräkna förglasningstalet för en aska som innehåller 3,9 % kisel, 3,4 % kalium och 0,53 % natrium bör man alltså börja med att bestämma de relativa moltalen för dessa ämnen enligt följande:

$$mtr_{Si} = \frac{3,9}{28,1} \cdot 100 = 13,879$$

$$mtr_K = \frac{3,4}{39,1} \cdot 100 = 8,696$$

$$mtr_{Na} = \frac{0,53}{23,0} \cdot 100 = 2,304$$

Förbränning innebär att de närvarande ämnena oxideras och förmågan att reagera med oxidjoner är olika för olika ämnen. För att kompensera för de olikheterna bör de relativa moltalen viktas innan de används för att beräkna nyckeltal (Kallner, Zintl & Engvall 1999). För de basiska askkomponenterna innebär det att varje ämnes relativa moltal multipliceras med det antal syreatomer som ämnet binder till sig vid förbränningen. Kalcium som oxideras till kalciumoxid ska alltså multipliceras med 1, medan natrium som oxideras till dinatriumoxid multipliceras med 0,5. För de sura askkomponenterna är det svårare att bestämma viktningstalen eftersom de ofta inte utnyttjar sin oxiderande förmåga till fullo (Zintl). De viktningstal som har använts i denna rapport finns listade i bilaga 2.

När viktningen är avklarad kan förglasningstalet beräknas:

$$\text{förglasningstalet} = \frac{2(K^* + Na^*)}{3Si^*} = \frac{2((0,5 \cdot 8,696) + (0,5 \cdot 2,304))}{3 \cdot (1 \cdot 13,879)} = \frac{8,696 + 2,304}{3 \cdot 13,879} = \underline{\underline{0,264}}$$

Det visade sig i detta exempel att förglasningstalet var lägre än 0,25 och det innebär, enligt tidigare att risken för beläggingsbildning är liten.

Ofta anger analysföretag vid en beställd bränsleanalys halterna av alla ämnen i oxidform (vilket inte garanterar att det är den enda form som ämnet förekommer i) och då blir beräkningen något annorlunda. Samma askexempel som ovan innehåller uttryckt i oxider 8,3 % kiseldioxid, 4,1 % dikaliumoxid och 0,72 % dinatriumoxid. De relativa moltalen beräknas nu istället utifrån oxidernas

molmassa och anpassas sedan efter hur många mol av det aktuella ämnet oxiden innehåller:

$$mtr_{Si} \approx mtr_{SiO_2} = \frac{8,3}{28,1 + (2 \cdot 16)} \cdot 100 = 13,810$$

$$mtr_K \approx 2 \cdot mtr_{K_2O} = 2 \cdot \left(\frac{4,1}{(2 \cdot 39,1) + 16} \cdot 100 \right) = 8,705$$

$$mtr_{Na} \approx 2 \cdot mtr_{Na_2O} = 2 \cdot \left(\frac{0,72}{(2 \cdot 23,0) + 16} \cdot 100 \right) = 2,323$$

Sedan kan förglasningstalet beräknas med hänsyn till viktning på samma sätt som tidigare:

$$förglasningstalet = \frac{2(K^* + Na^*)}{3Si^*} = \frac{2((0,5 \cdot 8,705) + (0,5 \cdot 2,323))}{3 \cdot (1 \cdot 13,810)} = \frac{8,705 + 2,323}{3 \cdot 13,810} = \underline{\underline{0,266}}$$

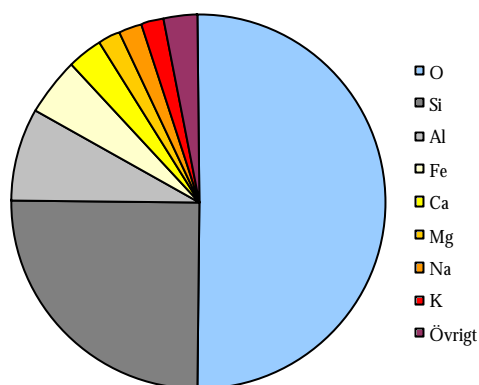
Som synes blir slutresultatet nära det samma när man istället för att utgå från grundämnena utgår från oxidernas relativa moltal.

8.2 Varför är nyckeltalen viktiga för detta examensarbete?

Nyckeltalen är i likhet med Segerformeln ett verktyg som kan användas för att förutspå hur olika asksammansättningar beter sig i pannan. Precis som fallet är med Segerformeln ger inte nyckeltalen någon exakt smälttemperatur. Men eftersom dessa tal är anpassade till att användas vid utvärdering av just bränsleaskor finns (som beskrivits ovan) riktlinjer för inom vilket intervall talen bör ligga för att risken för beläggingsbildning ska vara minimal. Nyckeltalen tar även hänsyn till eventuell bildning av eutektikum, vilket man bortser helt ifrån vid beräkningar med hjälp av Segerformeln.

9 Jordens mineraler - trädens näring

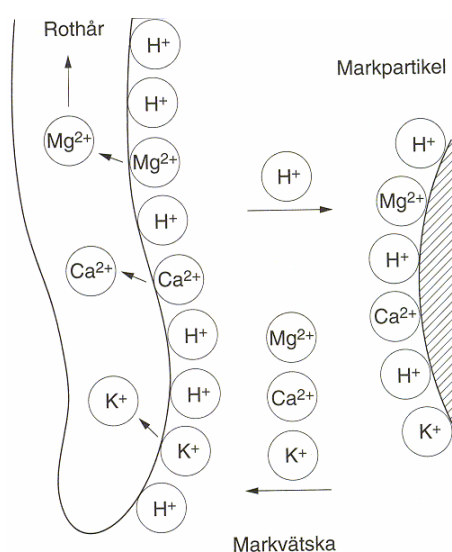
50 % av jordskorpan utgörs av grundämnet syre. Näst vanligast är kisel som utgör 25 % och återstående 25 % fördelas mellan aluminium, järn, kalcium, magnesium, natrium, kalium och en mängd andra grundämnen (Kirchmann & Ericsson 1987). Många av dessa ämnen är livsviktig näring för träden och en förutsättning för god tillväxt i skogen.



Figur 3. Fördelning av ämnen i jordskorpan.

Gräset, i likhet med de flesta andra träd och växter, tar upp en stor del av sin näring genom rötterna, men endast en liten del tas upp genom direktkontakt mellan rot och näringsämne. Den allra största delen av näringen kommer gräset åt genom utbyte av baskatjoner, vilket kräver att näringsämnena finns lösta i markvätskan i jonform. Partiklar i marken har utåt sett en elektrisk laddning och binder därför till sig joner. Denna förmåga är störst hos små markpartiklar som ler- och humuspartiklar eftersom de tillhandahåller den största ytan för jonerna att bindas till. (Många små partiklar innebär en större total yta än få och stora partiklar.) I svenska jordar är största delen av dessa partiklar negativt laddade och binder därför till sig positiva joner, det vill säga baskatjoner (exempelvis K^+ och Ca^{2+}) och sura katjoner (exempelvis H^+ och Al^{3+}). Man säger att jorden har hög katjonutbyteskapacitet CEC (Cation Exchange Capacity). Anjonutbyteskapaciteten AEC (Anion Exchange Capacity), det vill säga markens förmåga att binda negativa anjoner (exempelvis SO_4^{2-} och Cl^-) är följaktligen betydligt mindre eftersom de positivt laddade markpartiklarna inte är lika många. Många av baskatjonerna utgör viktig näring för gräset och tas därför upp genom rötterna samtidigt som en vätejon från gräsets rot skickas ut i markvätskan enligt figur 5. Vätejonen har förmågan att bilda en starkare bindning till lerpartikeln än en baskatjon. Den knuffar därför undan en baskatjon för att själv få plats vid lerpartikeln och den undanknuffade jonen blir då fri i markvätskan och tillgänglig för trädet. Baskatjonen når trädets rot antingen genom att den följer med rinnande vatten eller genom diffusion, som drivs av en strävan efter att utjämna skillnader i koncentration av det aktuella ämnet i och utanför roten. Om pH-värdet i marken är lågt (det vill säga marken är sur) innebär det att det finns gott om vätejoner. Försurning sker naturligt hela tiden i ett område med växande gröda eftersom baskatjoner hela tiden knuffas bort från lerpartiklarna för att lämna plats åt de starkare vätejoner. Denna försurning neutraliseras dock genom att de basiska

näringsämnena återförs till marken när växten dör eller genom vittring av bergarter som tillför nya baskatjoner till marken. För även om vätejonens bindningsförmåga till markpartiklarna är starkast kan dessa bindningskrafter övervinnas av baskatjonerna om de blir tillräckligt många (Ericsson). Försurningen kan naturligtvis även bero på att sura ämnen tillförs utifrån, till exempel i form av surt regn. Vid försurning finns till en början ofta gott om fria baskatjoner i markvätskan som träden kan ta för sig av, men risken för utlakning av dessa är mycket stor. Det finns nämligen ingenting som håller baskatjonerna kvar när de inte längre är bundna till lerpartiklarna och risken är stor att de sveps med av vatten som rör sig genom jorden. Ett högre pH-värde innebär därför en bättre balans mellan växttillgänglig och icke växttillgänglig näring.



Figur 4. Katjonutbyte mellan markpartikel och växtrot.

9.1 Ämnenas ursprung och förekomst

9.1.1 Kisel (Si)

Alla jordarter innehåller relativt stora mängder kisel. Vissa sandjordar kan innehålla upp till 40 %, medan andra jordar har ett kiselinnehåll som understiger 10 % (Ledin 2001). Kisel finns i markvattnet i form av kiselsyra (H_4SiO_4), men för att denna syra ska bli tillgänglig för växterna måste den dissocieras, det vill säga delas upp i vätejoner och kiselsyrajoner (H_4SiO_3^-). Även om lerpartiklar (som beskrivits ovan) oftast är negativa och binder till sig katjoner finns det även positivt laddade markpartiklar som adsorberar anjoner, till exempel kiselsyrajoner. Men kiselsyra adsorberas inte direkt till markpartikeln genom elektrostatisk fysikalisk bindning som baskatjoner gör till en negativt laddad markpartikel, utan genom kemisk bindning till olika ämnesgrupper på markpartikeln. Den kemiska bindningen är mycket starkare än de elektrostatiske och därför är kiseljonerna ofta svårtillgängliga för träden. Dissociationen av kiselsyra ökar med stigande pH, men samtidigt blir de positivt laddade markpartiklarna färre och därmed förmågan att

adsorbera anjoner sämre (Kirchmann & Ericsson 1987). Högt pH innebär med andra ord att det finns gott om kisel-syrajoner, men ont om positiva partiklar som kan adsorbera dem och det finns därför mycket fritt kisel i markvätskan som löper stor risk för att lakas ut. Granar tar inte aktivt upp kisel, utan allt kisel som finns i växten har följt med vid upptag av vatten. Halten kisel i växten bör därför öka och minska med koncentrationen av kisel-syra löst i markvätskan och följaktligen vara beroende av markens pH-värde. När det gäller kiselhalt i grot är metoden för uttag av grotten av stor betydelse. Sand och jord som följer med bränslet vid uttaget kan nämligen ge ett stort bidrag till kiselhalten i bränslet och vid analys går det inte att skilja på bränslets eget kisel och kisel som härstammar från sand och jord. I växten förekommer kisel som avlagringar mellan celler eller i cellrum och finns i större utsträckning i gamla celler än i nya. Kisel betraktas oftast inte som ett nödvändigt växtnäringsämne, men det fyller trots allt följande mekaniska och fysikaliska funktioner i växten (Kirchmann & Ericsson 1987).

- För stråväxter (till exempel spannmål) verkar kisel stabiliserande och hindrar stråna från att lägga sig ner eller gå av.
- Kisel anses kunna skydda växten mot svampar och skadeinsekter genom att utgöra ett fysiskt hinder för dessa
- Förhöjda halter kisel i en växt har visat sig minska transpirationen. Orsaken till detta är inte fastställd men en teori är att kisel påverkar vaxavlagringarna på bladen.
- Man tror att celler med kiselavlagringar har en större förmåga att släppa igenom solljus till den underliggande fotosyntesvävnaden än celler som saknar kiselavlagringar. Detta kallas för fönstereffekt.

9.1.2 Kalium (K)

Kalium utgör 2 % av jordskorpan och i matjord och alv (se figur 8) är kaliuminnehållet ofta ungefär 1,2 %. Största delen av allt kalium i jordskorpan finns i form av silikat och de viktigaste källorna för kalium i Sverige är vittring av mineralen mikroklin (kaliumaluminiumsilikat) samt muskovit och biotit (silikat av järn, aluminium, kalium och magnesium). Lerjordar är ofta rika på kalium eftersom lermineral adsorberar kaliumjoner som frigjorts genom vittring och håller dem kvar, medan exempelvis natriumjoner sköljs bort i mycket större utsträckning. De kaliumjoner som adsorberats till lerpartiklar är tillgängliga för växter (under förutsättning att en vätejon lämnas i utbyte för att fylla platsen vid lerpartikeln), vilket innebär att jordar med stor kaliumtillgång även innehåller mycket växttillgängligt kalium. Kalium aktiverar enzym som är viktiga för trädets fotosyntes och vid syntes av stärkelse och protein. Med andra ord skulle man kunna säga att kalium fungerar som en katalysator för trädets ämnesomsättning. Brist på kalium kan i vissa fall ses som gulnande blad med döda fläckar, men det är ganska ovanligt med kaliumbrist hos vilt växande skog. Istället talas det om att växter har en förmåga att "lyxkonsumera" kalium, det vill säga ta upp mer kalium än de egentligen behöver. Detta är en teori som är välkänd när det gäller vallväxter, men det kan mycket väl förekomma att även granen tar upp mer kalium än den behöver (Ericsson & Ericsson). Om lyxkonsumtion av kalium förekommer i svenska skogar bör det vara möjligt att begränsa kaliumhalten i grot genom val av växtplats utan att neka träden den nyttiga mängd kalium som behövs för tillväxten.

9.1.3 *Natrium (Na)*

Natrium utgör runt 2,5 % av den tillgängliga delen av jordskorpan. Vittring och utlakning av natrium ur berggrunden är orsaken till att vattnet i våra oceaner är salt och över 30 % av mängden lösta komponenter i världshaven utgörs av natrium bundet som natriumklorid (<http://www-markinfo.slu.se>, 2004-10-15). Det natrium som finns i svenska skogsmarker härstammar huvudsakligen från bergarterna albit och oligoklas, men finns i små mängder även i andra bergarter eftersom natrium har en förmåga att ersätta kalium i kristallgittret. Natrium anses inte vara ett livsnödvändigt näringsämne för växter, men kan göra nytta för exempelvis osmosen (det vill säga vattenintag via cellmembran som möjliggörs av att koncentrationen av lösta ämnen är högre inne i cellen än utanför.)

9.1.4 *Kalcium (Ca)*

Svenska skogsjordar innehåller i medel kring 1,75 % kalcium, men i områden där sedimentär saltsten påverkar kan halten överstiga 5 %. Brist på kalcium kan visa sig som döda skott, missformade unga blad och dålig rottillväxt eftersom celldelningen hindras hos celler som inte får tillräckligt med kalcium. Kalcium är även viktigt för cellväggarnas uppbyggnad och membranens stabilitet. Växter i allmänhet tycks kunna reglera sitt upptag av kalcium och tar därför oftast inte upp mer Ca än de behöver även om det finns i överflöd (Ledin 2001). Möjligheterna att med hjälp av markval påverka bränslets innehåll av kalcium bör därför vara små.

9.1.5 *Klor (Cl)*

Det klor som återfinns i marken härstammar dels från mineraler, dels från luftburna fina droppar av havsvatten och från vulkanutbrott. Kloridjonen (Cl^-) binds bäst i sura jordar och är i övrigt mycket löslig, vilket resulterar i att klor mycket lätt lakas ut ur marken. Men markvattnets innehåll av kloridjoner är oftast tillräckligt för att förse växterna med den klorid de behöver för att må bra (Ledin 2001). I växten har klor en viktig roll som förmedlare av elektroner i samband med fotosyntesen. Växter som har brist på klor får vissna bladspetsar och växter dåligt.

9.1.6 *Svavel (S)*

Markens svavel härstammar från en rad olika mineral till exempel gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) och anhydrit (CaSO_4). Men ett nämnvärt bidrag kommer även från atmosfären i form av rester från vulkanisk aktivitet och som utsläpp från förbränning av fossila bränslen. Växter tar upp svavel i form av svavelsulfat (SO_4^{2-}) från markvätskan och jonen når rötterna genom massflöde och diffusion (Ledin 2001). Sura lerrika jordar binder anjonen svavelsulfat bäst och under andra markförhållanden är utlakning ganska vanligt förekommande. Svavel ingår som en viktig byggsten i proteiner och brist kan ses som gulnande unga blad.

9.1.7 *Fosfor (P)*

Fosforhalten i jordskorpan är ca 0,1 % och allt fosfor härstammar från olika mineral. I marken bildar fosfor ofta svårlösliga föreningar, vilket innebär att mängden växttillgänglig fosfor är ganska begränsad på de flesta ställen (Ledin 2001). Fosfor har en mycket viktig roll i bland annat cellkärnan och fotosyntesen.

Man brukar förenklat säga att fosfor kontrollerar all energiöverföring i levande organismer.

9.1.8 Zink (Zn)

Zink finns i mycket små mängder i marken och hör till gruppen mikronäringsämnen, det vill säga näringsämnen som växterna endast behöver en mycket liten dos av. Halten av växttillgänglig zink minskar med ökat pH-värde och växter på kalkrika jordar kan därför i vissa fall uppvisa symptom som tyder på bristande tillgång till zink (Ledin 2001). Zinkbrist visar sig som dålig längdtillväxt och små blad och är framförallt vanligt hos majs. Zink underlättar syntesen av tillväxthormon hos växter och aktiverar flera enzym.

9.1.9 Järn (Fe)

Järn finns i stora mängder i jordskorpan, men kan ändå vara en bristvara för växter. Järn tas upp av växterna framförallt i formen Fe^{2+} , men även som Fe^{3+} då detta är möjligt. Halten växttillgängligt järn är starkt beroende av markens pH. Både Fe^{2+} och Fe^{3+} minskar i löslighet med stigande pH-värde eftersom vätjonaktiviteten är lägre vid höga pH. När pH uppnår 7,5 eller högre har det visat sig vanligt med järnbrist hos växter (Ledin). Även jordens inblandning av organiskt material kan ha stor inverkan på halten växttillgängligt järn. I vatten som sjunker genom organsikt material i marken löser sig organiska syror (R-COOH) så att karboxylsyra (R-COO) blir fri att bilda starka komplex tillsammans med järn, så kallade kelat. Järn bundet som kelat kan vara tillgängligt för växter och jord som är rik på organiskt material kan därför ofta förse växter med tillräckliga mängder järn vid högre pH-värden än humusfattiga jordar. Kelatkomplexen följer med vattnet genom markprofilen och nere i rostjorden fälls järnet ut som järnhydroxid och ger rostjorden dess karakteristiska färg.

10 Hypotes

Med utgångspunkt från de teoretiska avsnitten ovan har en teori formulerats och meningen med provtagning och analysering av beläggningar, bränsle och jord har varit att stärka eller motbevisa denna teori. Teorin kan sammanfattas med att lerrik jord bör vara den sämsta jorden att odla gran på ur beläggningssynpunkt. Som tidigare nämnts har lerpartiklar en förmåga att hålla kvar kaliumjoner i större utsträckning än andra joner samtidigt som de är tillgängliga för träden. På grund av den tidigare beskrivna lyxkonsumtionen av kalium bör kaliumrik mark innebära kaliumrika träd, vilket i sin tur innebär kaliumrik aska och kaliumrika förbränningsgaser i pannan. Kalium har en viktig roll vid beläggningsbildning både genom glasbildning och saltsmältor. I detta fall bör glasbildning ha störst betydelse eftersom klor, svavel och fosfor förekommer i ganska små mängder i trädbränslen. Vilken roll kisel har i beläggningsbildningen är mycket svårt att förutspå och det är därför svårt att avgöra om höga eller låga kiselhalter i bränslet är att föredra.

11 ENA Krafts bränsle

11.1 Sort och ursprung

Med undantag för en mycket liten mängd olja, som behövs vid uppstart av flispannan och som reserv förbränns på ENA Kraft endast trädbränslen och salix. De dominerande typerna av trädbränsle är grot från skogen samt flis, spån och bark från sågverk. Huvuddelen av bränslet kommer från närliggande skogar, åkrar och sågverk. Men i undantagsfall förekommer även inköp av bränslen som är producerade på mer avlägsna platser som till exempel Ryssland och de baltiska staterna.

Allt bränsle som eldas i ENA Krafts flispanna köps via bränsleleverantören Naturbränsle AB, enligt ett avtal som gäller fram till år 2008.

11.2 Bränslets spårbarhet

För att möjliggöra en eventuell kvalitetsklassning av bränsle utifrån den mark det har vuxit på krävs först och främst att en bränsleleverans kan spåras hela vägen tillbaka till hygget eller åkern. Det är därför intressant att undersöka vilka biobränslen som går att spåra och hur stor del de utgör av den totala bränsleleveransen till ENA Kraft. Spårbarheten hos ett bränsle beror till största delen av hur bränslet hanteras på sin väg från växtplatsen till ENA Kraft.

11.2.1 Spårbarhet sågverksrester

När ett parti med stockar anländer till sågverket sorteras de efter tjocklek innan de barkas och sågas till bräddor. Det innebär att stockar från flera olika leveranser blandas och det är därför omöjligt att spåra den spån och bark som kommer som restprodukt från sågverk.

11.2.2 Spårbarhet Salix

Salix är oftast lätt att spåra eftersom skörd, flisning och leverans sköts av entreprenörer som anlitas av Naturbränsle AB. Ibland lagras flisad salix vid åkern och hämtas vid ett senare tillfälle, vilket gör det ännu lättare att välja vid vilken tidpunkt detta parti ska förbrännas.

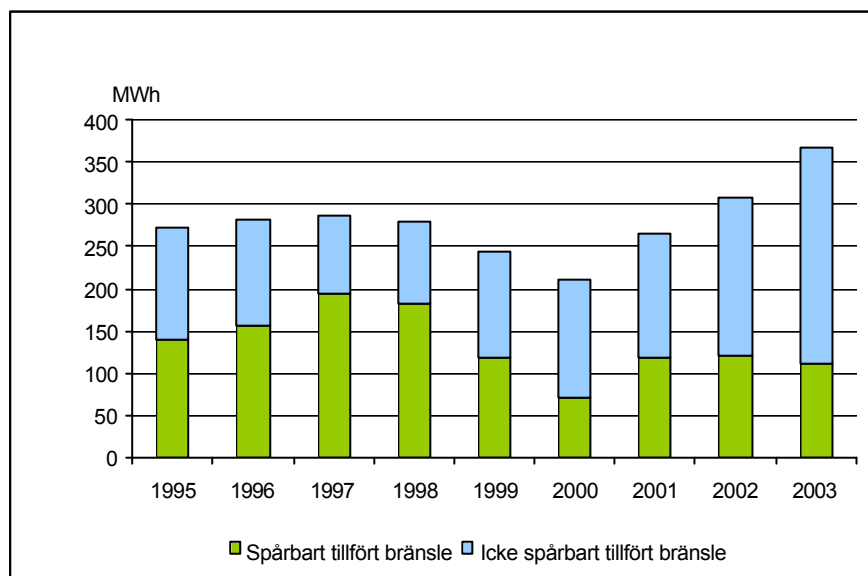
11.2.3 Spårbarhet grot

När en markägare ska avverka sin skog avgör han/hon själv om groten ska lämnas på hygget eller tas om hand för energiproduktion. Om ägaren väljer att ta hand om groten kan han/hon exempelvis sälja groten till Naturbränsle AB. De anlitar då en entreprenör som hämtar groten och ser till att den blir flisad. Slutligen säljs bränslet vidare till ENA Kraft eller något liknande företag. Hos Naturbränsle AB finns en databas med kartor i vilken hyggen med grot enkelt kan lokaliseras med hjälp av x- och y-koordinater. Varje hygge får av Naturbränsle ett referensnummer som följer groten från hygget och hela vägen till slutkunden (Larsson). I de flesta fall kan man alltså i ett senare skede gå in i databasen och med hjälp av ett referensnummer ta reda på koordinaterna för den plats där bränslet från en viss leverans har vuxit.

Ibland inträffar det dock att grot från flera olika hyggen levereras blandade i samma bil och då blir det naturligtvis svårt att skilja dem åt. En sådan situation kan exempelvis inträffa när en bil hämtar upp den sista groten från ett hygge för att sedan åka vidare till ett annat för att fylla bilen. Men om det visar sig värdefullt att ursprungsbestämma varje bränsleleverans bör det gå att undvika blandade leveranser.

11.2.4 Andel spårbart bränsle

Diagrammet nedan (figur 5) grundar sig på dokumentation över alla bränsleleveranser från år 1995 till och med år 2003. Andelen spårbart bränsle var under periodens tidiga år mer än 50 %, men har sedan minskat med åren för att i dagsläget inte utgöra mer än runt 30 %. En bidragande orsak till denna utveckling är att både grot och salix till viss del har fått stå åt sidan till fördel för billig importerad helvedsflis från framförallt Baltikum.



Figur 5. Diagram som visar andelen spårbart bränsle hos ENA Kraft AB.

12 Provtagning

Med utgångspunkt från Naturbränsle AB:s dokumentation av avverkade hyggen i Enköpings närområde valdes fem hyggen ut för provtagning. Efter studie av jordartskartor kunde dock konstateras att fyra av de fem hyggena fanns på samma typ av jordart, nämligen sandig morän. För att få bättre spridning på proven valdes därför två hyggen bort och ersattes av två skogspartier belägna på andra jordarter. De två nya provplatserna hittades genom jämförelser mellan jordartskartor och lantmäteriets terrängkarta som visar var det växer skog (se bilaga 3).

För att lokalisera de exakta koordinaterna för varje provtagningsplats användes en GPS-mottagare från Magellan. Det svenska koordinatsystemet RT 90 har använts eftersom detta koordinatsystem gav bäst noggrannhet på kartan. Koordinaterna för de önskade provtagningsplatserna mättes fram på kartan och spardes i mottagarens minne. Väl ute i skogen kunde den önskade platsen pekats ut med en minsta noggrannhet av 100 meter horisontellt och 150 meter vertikalt med hjälp av GPS-mottagaren. På några av provplatserna representerade inte de i förväg framräknade koordinaterna en lämplig provplats och provet har då tagits så nära den ursprungliga platsen som möjligt. De nya koordinaterna för dessa platser antecknades i samband med provtagningen och anges i tabell 2.

Provplatsen som namngetts "Kävlinge" visade sig ligga mycket otillgängligt till och inga prover har därför tagits från denna plats. För att undvika missförstånd senare i rapporten fick denna plats inget nummer. På de övriga platserna togs både jord och bränsleprov ut. De fem provplatserna presenteras i tabell 3 döpta efter närbelägen ort.

Tabell 3. *Provtagningsplatserna*

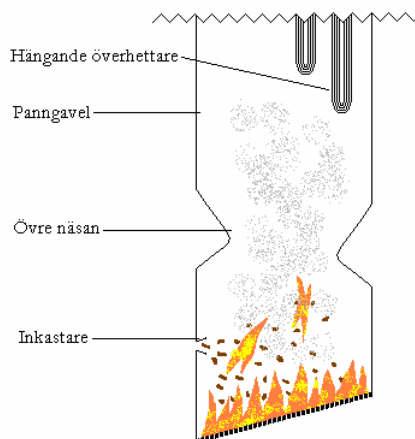
	Plats	Jordart	Koordinater	Hygge/Skog	Övrigt
1	Hällingsbo	Glacial lera	V-Ö 156695 S-N 661021	Skogsområde	Svårt att se lager i jorden
2	Forsby	Sandig morän	V-Ö 156601 S-N 662970	Hygge	Svårt att se lager i jorden
	Kävlinge	Sandig morän	V-Ö 156845 S-N 662560	Hygge	Mest lövträd Inga prov tagna
3	Kärvskog	"Urberg"	V-Ö 157055 S-N 662921	Hygge	Svårt att se lager i jorden
4	Högbo	Svallgrus	V-Ö 157318 S-N 664668	Skogsområde	Tydliga lager i jorden

Tyvär är det inte det analyserade bränslet som har orsakat de analyserade beläggningarna, eftersom det inte gick att få ihop tidsmässigt. Beläggningssproverna togs ut i början av sommaren innan den avställda pannan blev rengjord och bränsleproverna togs i slutet av augusti huvudsakligen från

hyggen vars skörd med största sannolikhet kommer att levereras till ENA Kraft senare i höst/vinter. Men beläggningarna bör ändå ge en representativ bild av de beläggningar som bildas i ENA Krafts panna eftersom bränslemixen oftast har liknande sammansättning.

12.1 Beläggningar

Beläggningsprover togs från fyra olika ställen i pannan i likhet med tidigare år. Dessa fyra ställen har ursprungligen valts för att beläggningens bildning har visat sig vara kraftigast där. Pannan var vid provtagningsstillfället avställd, vilket var nödvändigt eftersom beläggningarna måste skrapas loss från pannväggarna för hand. De fyra provtagningsställena beskrivs i tabell 4 nedan samt visas i figur 6. På övre näsan togs två olika prover eftersom där fanns två lager av beläggningar med mycket olika karaktär. De beläggningar som i tabellen nedan beskrivs som porösa är troligtvis orsakade av så kallad termofores och innefattar med andra ord inget smält material. Övriga beläggningar var hårdare och höll ihop bättre.



Figur 6. Provtagningsplatser för beläggningar.

Tabell 4. Beläggningens provens karaktär.

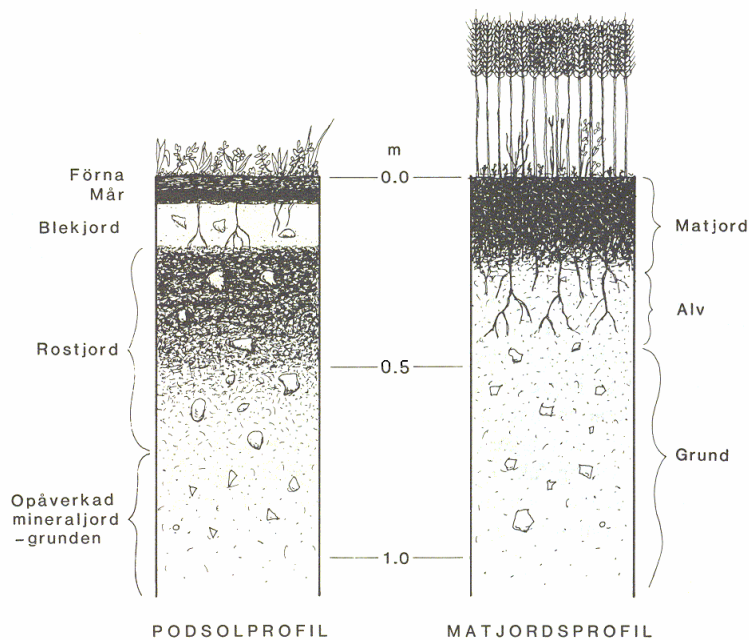
Provplats	Karaktär
1 Övre näsan	Stora porösa
2 Övre näsan (inre)	Tunt lager, hårda
3 Hängande överhettare	Tunnare lager, hårdare
4 Panngavel	Tunnare lager, hårdare
5 Inkastare	Stora porösa

12.2 Jord

Vid var och ett av de fem provområdena togs två jordprover ut, ett från det översta skiktet av mineraljorden, den så kallade blekjorden och ett från det andra skiktet i mineraljorden, nämligen rostjorden. De olika minerallagren i jorden bör kunna urskiljas eftersom de har olika färg, men det visade sig på tre av de fyra platserna där jord togs vara mycket svårt och i dessa fall fick markdjupet bli avgörande. Rostjordsprovet har tagits på drygt 30 cm djup under förnalagret och blekjordsprovet direkt under förnalagret. Figur 8 visar ett exempel där gränsen mellan blekjord och rostjord syns tydligt. Varje prov bestod av delprov från fyra olika grävda hål placerade som på ett kryss med det träd, från vilket bränsleprov togs i mitten. Varje prov bestod av ungefär en liter jord som paketerades i plastburk med lock.



Figur 7.
Hål för uttag av jordprov i svallgrus.



Figur 8. Markprofil som visar på vilka djup blekjord respektive rostjord finns.

12.3 Bränsle

Vid provtillfället fanns inga hyggen i närområdet som var under avverkning och alla de fem var därför redan färdigavverkade och groten placerad i vältor. Det är högst sannolikt att bränslet i just dessa vältor kommer att levereras till ENA-kraft under kommande säsong. Eftersom flera av de ämnen som är intressanta för beläggingsbildning lakas ut om bränslet får ligga och utsättas för nederbörd konstaterades att provtagning från de liggande välterna antagligen skulle ge mycket otydliga resultat. Valet blev därför att ta färsk (växande) biomassa från varje provområde. På det sättet råder det heller inget tvivel om att trädet som bränsleprovet togs ifrån verkligen har växt på exakt den plats där jordprovet togs ut. Jordartsskiftningarna är på många ställen ganska täta och om bränsleprovet hade tagits ur vältan, vars innehåll är hopbuntat från ett ganska stort omkringliggande område, hade det varit omöjligt att veta vilken jordart varje bränsleprov hade vuxit på. Samtliga bränsleprov utgörs av gran och de grenar som behövdes klipptes av nedtill en bit ifrån stammen, för att minimera skadan på trädet. Färska gröna grenar har blandats med torra grenar och hur blandningen ser ut varierar till viss del beroende på provträdets kondition. Grenarna flisades på plats (med hjälp av en bensindriven flismaskin från Hyresmaskiner i Hallstahammar) och paketerades i märkta plastsäckar. När alla prover var insamlade flyttades flisen till pappkartonger som placerades i ett kallförråd för att undvika bildning av mögel.

Vid ett senare tillfälle hämtades ett bränsleprov till från provplats 1 eftersom analysresultaten behövde kompletteras. Detta prov har fått nummer 5 och är alltså bara ett extra bränsleprov för vilket inga tillhörande jordprov finns.

13 Analys

13.1 Beläggningar

Beläggningsproverna skickades till AnalyCen i Lidköping för analys av askoxider och spårämnen.

13.2 Jord

Analys av de fyra jordproven utfördes vid institutionen för markvetenskap vid Sveriges lantbruksuniversitet i Uppsala. Eftersom det i detta fall är intressant att veta vilka mängder av olika ämnen granarna på provplatserna har chansen att ta upp undersöktes halterna av lösligt (det vill säga växttillgängligt) kalium, natrium, kalcium och magnesium genom extraktion med ammoniumlaktat. Halten utbytbara katjoner, det vill säga katjoner som sitter bundna vid markpartiklarna på ett sådant sätt att de kan knuffas ut av vätejoner och bli växttillgängliga, undersöktes också för samma ämnen. Som extraktionsmedel för detta användes 1M ammoniumacetat. Dessutom bestämdes jordens pH-värde eftersom det i många fall påverkar upptaget av näringsämnen.

13.3 Bränsle

13.3.1 Provberedning, askhalt och fukthalt

För att underlätta inaskningen av bränsleproverna måste de först malas till finare fraktion. På Termiska Processer genomfördes malningen i en kvarn avsedd för betydligt hårdare och torrare material (exempelvis plast), vilket medförde att det tog lång tid och var besvärligt. Bränsleproverna, som hade ganska hög fukthalt torkades inte innan malningen och dessutom bestod de av långa och sega delar. Därför bildades en kletig massa som fastnade i kvarnen och gjorde den mycket varm och överansträngd. Men eftersom ingen annan kvarn fanns att tillgå maldes alla de fyra bränsleproven (provet gran 5 hade inte tillkommit när analyserna på Termiska processer genomfördes) under dessa dåliga förhållanden. I och med att kvarnen hela tiden blev överansträngd och den kletiga bränslemassan då måste rensas bort från kvarnhjulet gick en viss stor del av bränslet förlorat.

När bränslet slutligen var malt torkades två invägda mängder av varje prov över natten i 150 °C för att fukthalten sedan skulle kunna bestämmas genom en ny vägning. På samma sätt bestämdes även askhalten (i färskt prov) efter att deglar med invägt bränsle stått i 550 °C ugnsvärme över natten för inaskning.

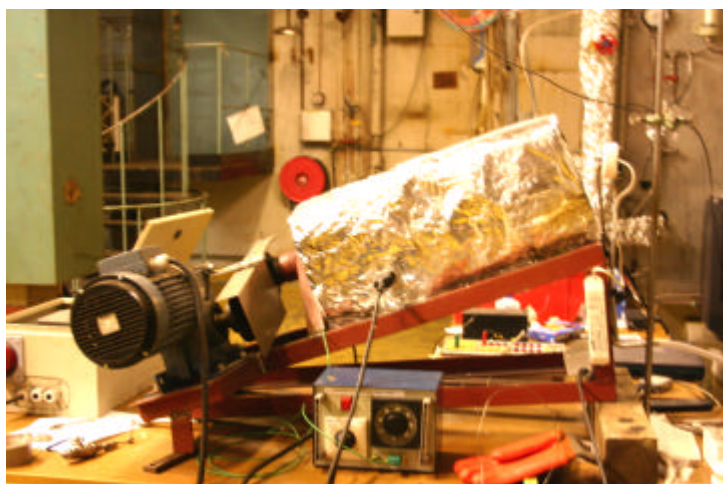
På AnalyCen i Lidköping utfördes allt arbete av företagets personal. Där valde man att torka bort bränslets ytfukt genom att sprida ut bränslet på stora plåtar som placerades i 35 °C varm ugn. Sedan maldes bränslet till pulver innan den bundna fukten torkades bort i 105 °C ugnsvärme. Askhalten bestämdes och bränsleproverna inaskades även på AnalyCen i 550 °C. Anledningen till att man väljer denna relativt låga temperatur för att inaska bränsleprover är att bland annat alkali kan börja förångas redan vid 600 °C. För att kunna utföra verklighetstroga smältpunktstester och representativa bränsleanalyser vill man naturligtvis att alla

viktiga ämnen ska finnas kvar i askan.

13.3.2 Smälttemperatur

Försök till bestämning av asksmälttemperatur genomfördes av examensarbetaren själv på Termiska Processer utanför Nyköping under vecka 36. Smältpunkterna hos de fyra bränsleprovns askor undersöktes dels med hjälp av en så kallad roterugn (E. Ramström 2004), dels genom uppvärmning av aska i stillastående deglar. De båda testmetoderna ställer stora krav på den visuella iakttagelseförmågan hos den som utför testerna och på grund av detta måste resultaten betraktas som något osäkra.

Roterugnen som finns på Termiska processer är ett ”hemmabygge” som har utvecklats inom företaget. Grunden utgörs av en välisolerad rörugn som lutar 20 grader. Vid test behövs endast något gram (beroende av askans densitet) av den bränsle- och bäddsandsblandning som ska undersökas och blandningen läggs i en keramikdegel som sedan sätts på plats i en hållare i rörugnen. Hållaren och följaktligen även degeln med askprovet roterar tack vare en liten motor under hela försöksförloppet. Genom att studera hur askan ”tumlar” i degeln när den snurrar kan man upptäcka förändringar i askans konsistens och beteende. Rotationen startas redan vid uppvärmningen av ugnen och askdegeln och håller ett stabilt varvtal (12 rpm). Lägst ner i rörugnen finns en lampa som lyser upp hela utrymmet i ugnen så att askan kan hållas under uppsikt från andra sidan av den glasskiva som fungerar som lock på rörugnen.



Figur 9. Roterugnen från sidan.

Ytterligare en lampa belyser askdegeln uppifrån och en liten kamera filmar hela händelseförloppet som kan studeras på en TV-skärm.



Figur 10. Kamera, lampa, luftkylning och roterugnens öppning.

Vid test i roterugnen är det nödvändigt att blanda bränsleaskan med ett bäddmaterial, även om bränslet som i detta fall inte är tänkt att eldas i en panna med sandbädd. Utan inblandning av bäddmaterial tumlar inte askan lika jämnt i degeln under testet och det blir svårare att se exempelvis smältning och agglomerering. För att förhindra bäddmaterialet från att medverka i kemiska reaktioner som orsakar beläggningar användes så kallad inert sand, i detta fall Olivin 33. Olivin är ett järnmagnesiumsilikat, det vill säga en blandning av magnesiumsilikat (Mg_2SiO_4) och järnsilikat (Fe_2SiO_4). Siffran 33 anger att medelstorleken på sandens korn är 0,33 mm och namnet Olivin har mineralet fått på grund av sin olivgröna färg. Teoretiskt sett är Olivin mycket motståndskraftigt mot alkaliska angrepp och man bör därför kunna utgå ifrån att kiselföreningar som bildas härrör från bränslets eget kisel.

Bränsleprov motsvarande 1 gram aska vägdes in i en keramikbehållare tillsammans med 4 gram bäddmaterial och blandningen inaskades sedan över natten i 550 °C. Denna blandning användes både till test i roterugn och test i stillastående deglar. Genom att samma utgångsmaterial användes vid båda testerna blev jämförelsen av resultaten enklare. I vanliga fall används ren aska vid test med stillastående deglar.

Inför testerna av de fyra aktuella askproverna förvärmades roterugnen och degeln med askprovet till 550 °C. Därefter höjdes temperaturen så snabbt ugnen förmådde upp till maxvärmen som var ungefär 1050 °C. Ugnens temperatur registrerades av en dator som funktion av tiden och dessa data visades kontinuerligt i ett Excelark. I samma ark visades även kamerans temperatur eftersom den kan ta skada om den blir allt för varm. Kameran kylde under hela förloppet med hjälp av luft. Under hela uppvärmningen (som tog drygt en timme) hölls den tumlande askan under noggrann uppsikt och förändringar i dess beteende antecknades tillsammans med klockslag och temperatur för förändringen. Det är inte troligt att ett trädbränsle smälter helt i ett försök som detta (eftersom det krävs högre temperaturer) men

försöken kan visa vid vilken temperatur askan börjar smälta eller på annat sätt förändras. Tack vare kameran och Excel-filen är det möjligt att studera händelseförloppet igen vid ett senare tillfälle, vilket kan vara bra om man tror sig ha missat någonting viktigt eller har svårt att fastställa en temperatur för en särskild händelse. Men på grund av det motljus som uppstår i rörugnen när dess innandöme blir glödande av värmen är bildkvaliteten på det som kameran spelar in stundtals mycket dålig. Det är därför tveklöst lättast att vara uppmärksam under testet när man kan titta på askan genom glasskivan istället för på TV-skärmen.

Testerna med stillastående deglar är betydligt lättare att utföra, eftersom allt som krävs är en ugn som klarar tillräckligt höga temperaturer, ett mikroskop och ett antal små deglar som tål de höga temperaturerna. Testmetoden går ut på att något gram aska (i detta fall blandat med inert bäddsand) från de prov man vill undersöka placeras i en liten keramikdegel som ställs in i ugnen värmd till den önskade starttemperaturen. Efter att proverna fått stå i ugnen under ett förutbestämt antal minuter studeras askan i mikroskop. Om ingen agglomerering eller smältning kan ses ställs deglarna återigen in i ugnen i en högre temperatur för att sedan på nytt undersökas i mikroskopet. På det sättet fortsätter arbetet tills någon förändring upptäcks.



Figur 11. Deglar fyllda med aska för test med stillastående deglar.

De fyra inaskade granproverna ställdes för första gången in i ugnen vid 700 °C och därefter höjdes temperaturen med 25 °C åt gången. Vid varje deluppvärmning fick proven stå i ugnen minst 15 minuter och deglarna fick svalna en aning innan proverna studerades genom mikroskopet. En pincett användes för att "röra om" i proverna samt för att känna om de agglomerat som hittades var porösa eller höll ihop bra.

13.3.3 Askoxider och spårämnen

De fyra bränsleproverna skickades till AnalyCen i Lidköping för analys av askoxider och spårämnen samt bestämning av klor- och svavelhalt både i oförbränt och inaskat prov. Proverna fick namnen gran1, gran2, gran3 och gran4 efter sin ordning i tabell 2. Efter att resultaten av de fyra första proverna hade studerats rådde viss tveksamhet och därför skickades (som tidigare nämnts) ett femte prov till AnalyCen för exakt samma behandling. Detta prov fick namnet gran 5 och bestod av grot från samma plats som gran 1, men med en högre andel grön biomassa, det vill säga mer barr.

Många ämnen detekterades på AnalyCen med hjälp av ett instrument som kallas ICP-AES (optisk induktiv kopplad plasma). Detta instrument innehåller argon som när det leds genom ett elektromagnetiskt fält värms till 10000 °C och blir till plasma. Det prov som ska analyseras leds sedan in i plasman och på grund av den höga värmen exciteras då elektroner i provet för att sedan falla tillbaka och avge ljus i olika färger. En ljusdetektor tar emot ljuset och kan genom att observera ljusets olika våglängder avgöra vilka ämnen provet innehåller. ICP-AES är ett mycket effektivt instrument eftersom det kan detektera upp till 40 ämnen samtidigt. Men för att upptäcka ämnen som endast finns i mycket små halter räcker en ICP-AES ibland inte till och då använder man istället en såkallad ICP-MS (ICP med masspektroskopi). Argonplasma används även i detta instrument, men här för att jonisera de grundämnen som finns i provet. Grundämnena detekteras sedan i en masspektrometer i vilken jonerna accelereras genom ett magnetfält och rör sig i olika banor beroende på vilken massa de har. Man har i dessa instrument valt att använda argon eftersom det är en ädelgas som inte är benägen att reagera med ämnen i sin omgivning.

14 Resultat och tolkning

14.1 Beläggningsanalyser

Tabell 5 nedan visar halterna som AnalyCen har angett av de ämnen som tidigare i rapporten beskrivits som viktiga vid beläggningsbildning.

Tabell 5. *Analysresultat beläggningar.*

Prov	Övre näsan [% TS]	Övre näsan (inre) [% TS]	Hängande överh. [% TS]	Panngavel [% TS]	Inkastare [% TS]
Si	22	2,6	5,3	3,1	22
K	8,5	32	14	32	8,6
Na	0,73	0,52	0,76	0,65	1
Ca	17	8,5	27	13	15
Cl	0,05	1,3	0,06	1,3	0,01
S	0,73	8,6	2,1	5,4	0,14
P	1,3	0,71	1,8	1,1	1,1
Zn	0,32	3,5	0,78	1,1	0,13
Fe	1,4	0,62	0,85	0,57	1,4

I tabell 4 beskrivs att beläggningarna som tagits från det yttre lagret på övre näsan samt beläggningarna som tagits från inkastarna skiljer sig tydligt från de övriga beläggningarna. Dessa beläggningar är nämligen mycket stora och porösa, smulas lätt sönder vid beröring och påminner om porös sandsten till utseende och konsistens. Tabell 5 visar att dessa två beläggningar innehåller överlägset mest kisel och minst kalium och det är den mest troliga förklaringen till att de skiljer sig från de övriga. Antagligen höjer den höga kiselhalten i dessa fall smältpunkten hos beläggningarna så pass mycket att smältning aldrig blir aktuellt under de temperaturförhållanden som råder på just de platserna i pannan. Beläggningarnas utseende väcker misstankar om att de hålls samman av termoforeskrafter och att det alltså inte finns några klubbiga partiklar alls i dessa beläggningar.

Fullständiga analysresultat för de fem beläggningsproverna redovisas i bilaga 4-8 i den form de har erhållits från AnalyCen i Lidköping.

14.2 Jordanalyser

Tabell 6 nedan visar de resultat som jordanalyserna på Sveriges Lantbruksuniversitet i Uppsala gav. AL står för ammoniumlaktat och ex står för utbytbara katjoner. Halten av de olika ämnena har angivits i mg per 100 g lufttorrt prov.

Tabell 6. *Analysresultat jordprover.*

Prov	1:1	1:2	2:1	2:2	3:1	3:2	4:1	4:2
PH	5,4	5,9	5,0	4,7	3,4	4,5	5,0	5,5
Ca-AL [mg/100g]	179,0	168,0	45,0	26,0	70,0	23,1	30,0	12,0
K-AL [mg/100g]	15,7	10,0	14,3	8,1	36,4	11,2	3,4	-
Na-AL [mg/100g]	2,2	3,1	1,3	1,0	7,9	2,7	1,3	0,9
Mg-AL [mg/100g]	25,9	28,6	7,9	4,6	21,3	3,7	1,7	0,7
Ca-ex [mg/100g]	198,0	164,0	51,0	28,0	152,0	10,0	27,0	11,0
K-ex [mg/100g]	17,6	11,0	15,6	10,8	52,4	12,5	4,8	0,9
Na-ex [mg/100g]	2,1	3,3	1,6	0,9	12,5	2,3	0,3	0,2
Mg-ex [mg/100g]	26,2	26,4	8,6	4,9	30,4	3,8	1,4	0,6

Analysresultaten från jordproverna visar att prov 4 som hade tagits på svallgrus har sämst förråd av utbytbara och växttillgängliga katjoner. Detta är naturligt eftersom den jordarten har lägst lerhalt och därmed minst antal negativt laddade lerpartiklar som kan hålla kvar baskatjonerna. Prov 3 visar i flera fall högre värden än prov 1, vilket visar att även jorden i fickorna på urberget på provplats 3 är lerrik.

Analyssvaren visar att pH-värdet i marken på de olika provplatserna är ganska jämnt, men märkbart lägre för prov 3.

Samtliga analysvar som erhållits från lantbruksuniversitetet finns i bilaga 9.

14.3 Bränsleanalyser

14.3.1 Askhalt och fukthalt

Tabell 7 visar de fukthalter och askhalter som har bestämts dels av examensarbetaren själv på Termiska processer och dels av AnalyCen.

Tabell 7. *Fukthalt och askhalt.*

Prov	1	2	3	4
Fukthalt Tps [%]	29	36	19	32
Fukthalt AnalyCen [%]	37	45,2	42	28,7
Askhalt Tps [% av fuktigt bränsle]	2,52	2,61	1,6	2,06
Askhalt AnalyCen [% av TS]	3,4	3,6	2,5	2,2

Som synes är skillnaderna mellan fukthalterna bestämda av examensarbetaren själv på Termiska processer och fukthalterna bestämda av AnalyCen ganska stora och den viktigaste anledningen till detta bör vara att malningen av proverna gick till på olika sätt. Som tidigare beskrivits maldes proverna på Termiska processer med en kvarn som inte alls var lämplig för fuktig flis vilket resulterade i att kvarnen blev överansträngd och mycket varm. Det var för den som var närvarande uppenbart att flisen torkades mycket effektivt under malningen. Malningen genomfördes i en liknande kvarn på AnalyCen, men bränslet hade då redan torkats en del och fastnade därför inte i kvarnen.

Även de fukthalter som AnalyCen presenterar i sin rapport kan tyckas ovanligt låga med tanke på att färsk grot ofta innehåller över 50 % fukt. Förklaringen till det får antas vara att proverna stått orörda i kallförråd under några veckor paketerade i luftiga kartonger och helt enkelt torkat under lagringstiden.

Även på askhalterna kan tydliga skillnader ses mellan de två analyserna. Den viktigaste orsaken till dessa skillnader är att askhalten på Termiska processer beräknades på fuktigt bränsle, medan AnalyCen har angett askhalten i procent av torrsubstans. Askhalter kring 2 % beräknat på fuktigt bränsle kan verka lite högt men är ändå rimligt. Om man dessutom tar med den låga fukthalten i beräkningen kan man konstatera att 2 % är en trovärdig nivå på askhalterna.

I bilaga 10 visas de data som behövdes för att bestämma fukthalt respektive askhalt på Termiska processer.

14.3.2 Roterugntester

Som beskrivits tidigare i rapporten var det i samband med roterugntesterna inte tal om att se någon kraftig smältning av provaskorna eftersom ugnens maxtemperatur låg runt 1050 °C. Målet var istället att se ungefär vid vilken temperatur en eventuell förändring av askan som kan tyda på begynnande smältning eller agglomerering ägde rum. För askprov 1, det vill säga askan från den grot som vuxit på lermark, kunde en sådan förändring observeras när ugnstemperaturen var runt

800 °C. En avlång och hård smälta stor som ett granbarr sågs då tumla med den övriga askan runt i degeln utan att visa tecken på att gå sönder. Smältan kan även ses tydligt på den videofilm som spelades in under testet men det är lite svårt att se exakt när och hur den bildas. Det mest troliga är att uppbyggnaden av smältan startade strax innan temperaturen 800 °C uppnåddes och att den sedan byggdes på successivt och kunde urskiljas ur resten av askan en stund efter att bildningen startat, när den blivit tillräckligt stor.



Figur 12. En av smältorna som bildades vid roterugntestet med aska från prov 1.

När hela temperaturstegringen var avklarad och ugnen fått svalna så pass att degeln med den testade askan kunde plockas ut upptäcktes flera liknande men lite mindre smältor i askan. Det visade sig krävas ett ordentligt tryck för att krossa eller bryta av dem och de löses inte upp i vatten. Med utgångspunkt från den temperatur vid vilken smältorna bildades antogs först att de bestod av kisel i förening med kalium och kalcium. För att bekräfta detta skickades en av smältorna till företaget Glafo i Växjö som analyserade den med EDS (energidispersiv röntgenspektroskopi) i SEM (svepelektronmikroskop). Instrumentet klarar att detektera grundämnen från bor och uppåt i periodiska systemet, men i detta fall koncentrerades analysen på ämnen från fluor och uppåt. För fullt kvantitativ analys med denna teknik krävs ett plant homogent prov, vilket smältan inte kan betraktas som. Resultaten är därför en aning osäkra.

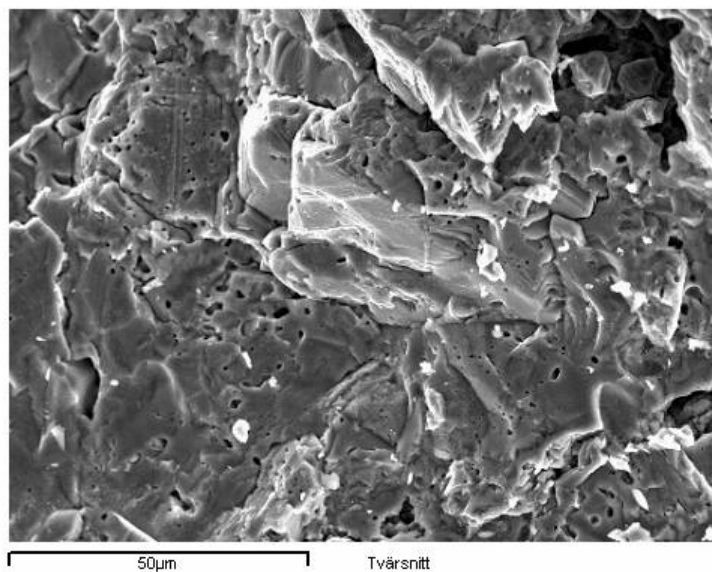
I tabell 8 visas de normerade analysresultaten från Glafo. Eftersom ytans sammansättning skiljde sig mycket från innandömet har de analyserats var för sig. För att ytterligare kompensera för att provet var inhomogent har båda delanalyserna utförts på tre olika ställen (spectrum1 -3).

Tabell 8. Resultat från SEM-analysen av smältan som bildades i roterugnen.

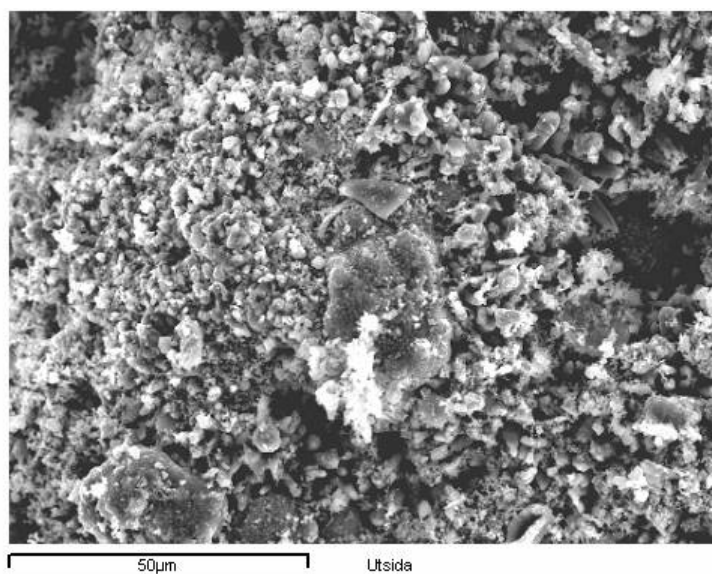
	Utsida			Tvärsnitt		
	Spect.1	Spect.2	Spect.3	Spect.1	Spekt.2	Spect.3
O [vikt %]	24,75	31,33	21,68	23,23	30,94	12,84
Mg [vikt %]	1,90	1,72	1,69	-	-	-
Al [vikt %]	1,49	0,41	0,89	-	-	-
Si [vikt %]	4,61	0,91	2,25	-	0,78	-
P [vikt %]	0,81	0,34	0,82	-	-	-
S [vikt %]	-	0,26	-	-	-	-
K [vikt %]	0,49	-	0,36	-	-	-
Ca [vikt %]	19,30	10,19	14,22	-	0,31	-
Mn [vikt %]	0,79	0,41	0,90	-	-	-
Fe [vikt %]	45,86	54,42	55,67	76,52	67,97	87,16
Zn [vikt %]	-	-	1,51	-	-	-
Co [vikt %]	-	-	-	0,25	-	-

SEM-analysen visade att smältan till största delen bestod av järnoxid. Järnhalten i innandömet uppgick till nära 80 %, medan ytterskalet innehöll runt 50 % järn samt kalcium och flera andra ämnen. Innandömet i smältan utgör med stor säkerhet det som inledningsvis har blivit klibbigt, medan ytterskalet i större utsträckning utgörs av ämnen som har fastnat i det klibbiga, eller smält i ett senare skede då temperaturen var högre. SEM-analysen visar dessutom att kisel, kalcium och kobolt endast utgör en mycket liten del av innandömet och utgångspunkten bör därför vara ett eutektikum som uppkommit ur endast järn och syre.

Figur 13 och 14 visar mikroskopfotografier av provets tvärsnitt respektive utsida.



Figur 13. Mikroskopfotografi av smältans tvärsnitt.



Figur 14. Mikroskopfotografi av smältans utsida.

Samtliga analyssvar som erhållits från Glafo finns i bilaga 11.

Askorna från prov 2,3 och 4 visade inget tecken på förändring under roterugnsförsöken, vilket antagligen beror på att ugnens maxtemperatur var för låg.

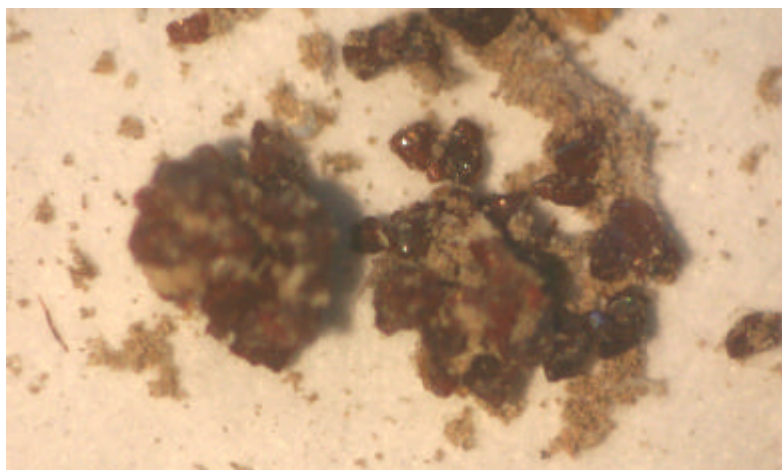
14.3.3 Tester med stillastående deglar

Tabell 9 visar vid vilka temperaturer agglomerering observerades hos de 4 askproverna.

Tabell 9. Resultat av smältpunktstester med stillastående deglar.

Prov	1	2	3	4
750 °C	—	—	—	—
800 °C	Agglom.	—	—	—
850 °C	Agglom	—	—	—
900 °C	Agglom	—	—	—
950 °C	Agglom	—	Agglom.	—
1000 °C	Agglom	—	Agglom	—
1050 °C	Agglom	—	Agglom	—
1100 °C	Agglom	—	Agglom	—

I askprov 1, det vill säga askan av den grot som vuxit på lermark observerades efter uppvärmning till 800 °C att det hade formats agglomerat av varierande storlek. Undersökning av dessa med hjälp av mikroskop visade att det var askan som blivit klibbig och klistrade samman bäddmaterialpartiklarna. Agglomeraten höll fortfarande ihop efter lätt beröring med pincett och enstaka hårdare (möjligtvis förglasade) små klumpar uppstod under den fortsatta uppvärmningen av askprov 1. Detta resultat stämmer väl överens med roterugnstesterna som även de visade en förändring av askprov 1 vid 800 °C.



Figur 15. Agglomerat upptäckt i prov 1 vid 800 °C.
De rödbruna större kornen är bäddsand (Olivin).

Efter uppvärmning till 950 °C visade askprov 3 samma tecken på förändring som askprov 1 tidigare gjort vid 800 °C, vilket var lite förvånande eftersom ingen förändring av askprov 3 observerades med roterugnstestet.

14.3.4 Askoxider och spårämnen

I tabell 10 nedan visas de fem inaskade bränsleprovens innehåll av de ämnen som tidigare beskrivits som viktiga för beläggingsbildningen. Ämnenas halter anges som % av torr aska. Halten klor och svavel anges däremot som % av torrs substans färskt bränsle och finns i bilaga 12-16.

Tabell 10. Analysresultat bränsle.

Prov	1 [% TS]	2 [% TS]	3 [% TS]	4 [% TS]	5 [% TS]
Si	5,00	10,00	6,30	2,50	9,90
K	4,30	5,30	5,70	4,60	8,40
Na	0,31	0,37	0,40	0,30	0,64
Ca	37,00	32,00	33,00	38,00	27,00
Mg	1,2	1,8	2,0	2,1	1,6
Cl	-	-	-	-	-
S	-	-	-	-	-
P	0,87	1,90	1,90	1,10	2,00
Zn	0,32	0,35	0,53	0,66	0,30
Fe	1,6	0,43	0,49	0,45	0,70

Enligt tabell 10 är järnhalten överlägset störst i prov 1, det vill säga askan av den gran som vuxit på lera och som smälte först i de båda smältförsöken på Termiska processer. För prov 2,3 och 4 är järnhalten ungefär den samma men något högre för prov 3 som vid Termiska processer visade tendenser till att börja smälta vid 950 °C. Som tidigare beskrivits är lösligheten av järn starkt beroende av markens pH-värde, men inget av jordproverna visar på högre pH än 5,9 och det är inte tillräckligt högt för att orsaka brist på växttillgängligt järn. Med andra ord borde alla de fyra provträden med avseende på pH-värde i marken ha god tillgång till järnjoner och det överlägsna upptaget hos prov 1 måste bero på någonting annat, till exempel halten organiskt material.

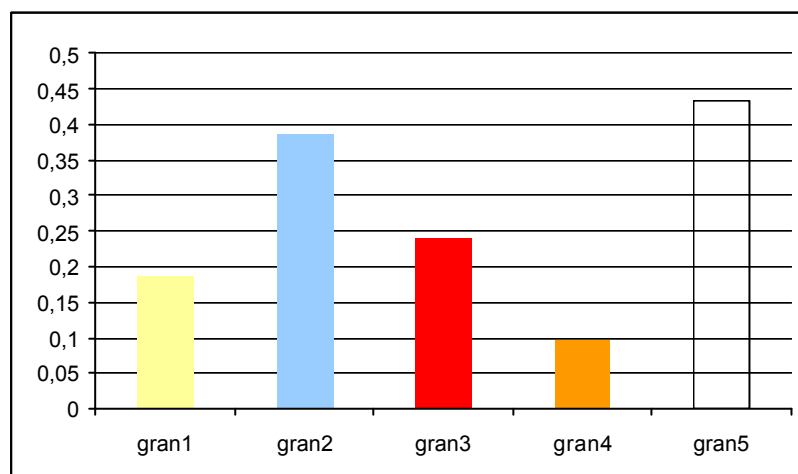
Som synes är det endast prov 5 som utmärker sig när det gäller halter av kalium och natrium. Detta var oväntat eftersom prov 1 och prov 5 kommer från samma leriga växtplats och därför förväntades innehålla relativt höga och framförallt lika halter kalium och natrium. Inskat prov 1 innehåller som tabellen visar minst kalium av alla prov, medan prov 5 innehåller mest. En bidragande anledning till skillnaderna mellan prov 1 och prov 5 kan vara att prov 5 bestod av en större andel

barr. Det är sedan tidigare känt att kalium och natrium främst finns i växters unga delar, det vill säga bark och blad eller barr.

Kiselhalten varierar en del mellan de olika proven och det har sannolikt betydelse för beläggningsskiktet. Men ingen naturlig förklaring till dessa variationer har hittats. Bränsleprov 4 som har vuxit på svallgrus har lägst kiselhalt.

Kalciumhalten är hög för alla proverna, vilket är mycket bra ur beläggningssynpunkt eftersom risken för bildning av lågsmltande blandfaser av kalcium då är liten.

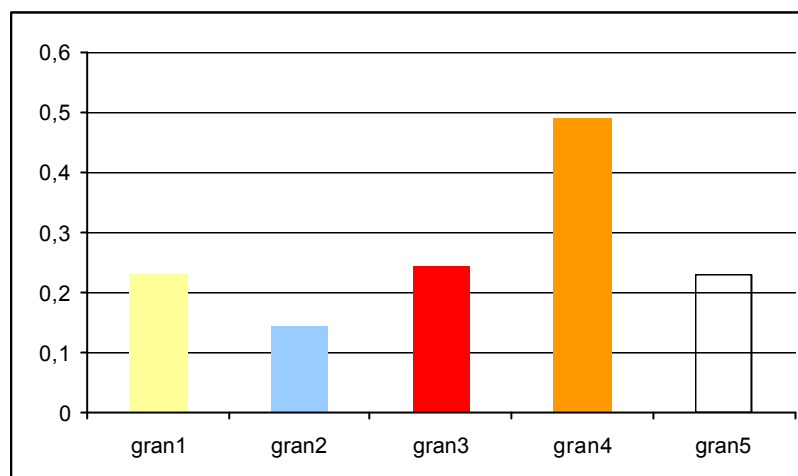
För att utvärdera resultaten av bränsleanalyserna har Segerformeln tillämpats på resultaten av de inaskade proven. (Se figur 16) De spårämnen och askoxider som analysen anger i sina resultatrapporter av inaskade prov utgör inte 100 %, eftersom en del oförbränt bränsle blir kvar efter inaskningen. Men Segerformeln kräver att den totala summan av alla komponenter i askan blir 100 % och därför måste en normering av alla ingående värden utföras. Vid beräkning med Segerformeln har hänsyn tagits endast till askoxider eftersom spårämnen utgör en mycket liten del av den totala askmängden.



Figur 16. Staplar som visar respektive askas "smälttal" enligt Seger.

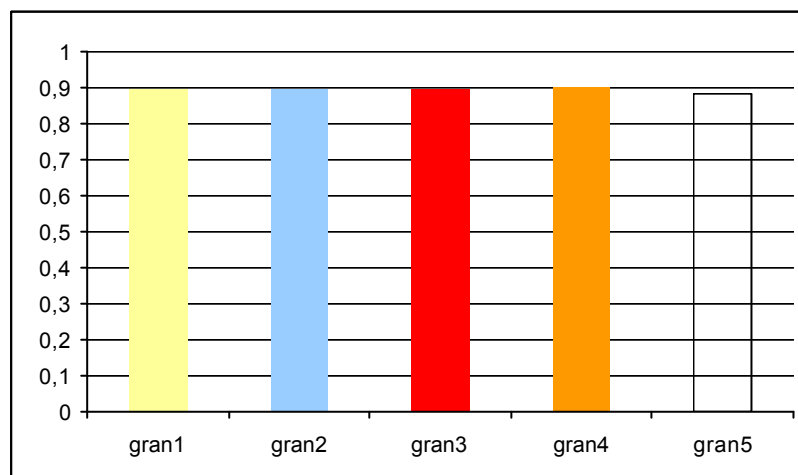
Eftersom halterna av de ämnen som enligt Seger kallas basiska är ganska lika blir kiselhalten avgörande för beräkningarna med Segerformeln och följaktligen blir resultaten att prov 4 smälter först eftersom det innehåller minst kisel. Detta stämmer inte överens med vad som observerades vid smältpunkttesterna på Termiska processer.

Även nyckeltalen för glasningstal, eutektikumstal 1 och eutektikumstal 2 har använts för att utvärdera resultaten för de inaskade proverna. Det bör observeras att nyckeltalen höll sig inom gränserna för vad som anses ge liten risk för beläggningsskiktet för alla proverna. Jämförelser mellan de olika proverna visar därför endast vilka askor som är närmast respektive längst ifrån gränsen för risk för beläggningsskiktet.



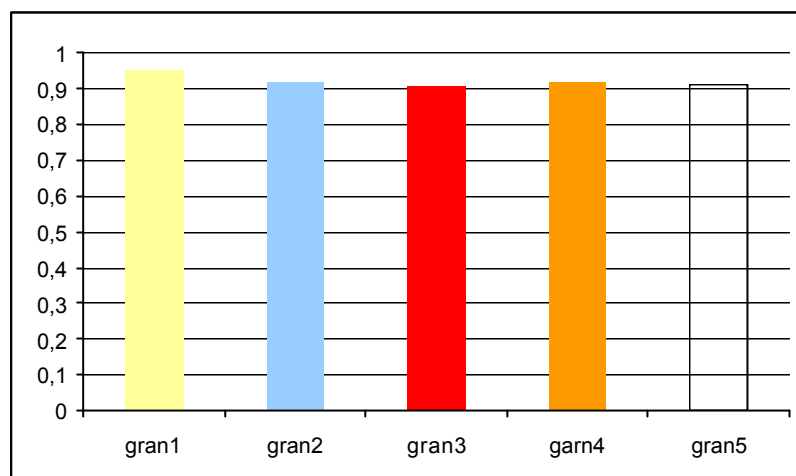
Figur 17. Staplar som visar förglasningstalet för respektive aska.

I likhet med Segerformeln anger förglasningstalet (figur 17) att askprov 4 sannolikt kommer att smälta först, vilket alltså inte stämmer överens med vad som observerades på Termiska processer.



Figur 18. Staplar som visar eutektikumstal 1 för respektive aska.

Enligt eutektikumstal 1 (figur 18) ligger alla de fem proven strax under gränsen för vad som anses innebära stor risk för bildning av lågsmältande faser av kalium och natrium.



Figur 19. Staplar som visar eutektikumstal 2 för respektive aska.

Eutektikumstal 2 (figur 19) visar att risken för bildning av lågsmltande faser av magnesium och kalcium är liten för alla proven.

Fullständiga analysresultat över spårämnen hos de fem olika bränsleproven redovisas i bilaga 12-16 i den form de har erhållits från AnalyCen i Lidköping.

15 Tillståndsdigram

Tillståndsdigram som visar fördelningen över de ingående askkomponenterna är bra hjälpmedel när smältrisken hos en viss askblandning ska bedömas. För detta syfte är ett tillståndsdigram med utritade solidusnivåer att föredra framför de vanliga med liqvidusnivåer. Solidusnivåerna visar vid vilken temperatur hela askblandningen är stelnad, det vill säga solid. (Med andra ord visar solidusnivåerna vid vilken temperatur askblandningen kan börja smälta.) Liqvidusnivåerna däremot visar vid vilken temperatur hela askblandningen är smält, vilket är mindre intressant när man försöker förutspå smältning som kan orsaka beläggningar. När bränsleaskor studeras används ofta ett tillståndsdigram av systemet $\text{SiO}_2 - \text{CaO} - \text{K}_2\text{O}$, det vill säga ett ternärt tillståndsdigram. Diagrammet ritas då som en triangel (se figur 20) i vilken varje sida blir axel för ett av de ingående ämnena. Man kan tänka sig att man betraktar systemet uppifrån istället för framifrån som är vanligt när man tittar på binära system. Tillståndsdigrammen visar vilken komplicerad process asksmältning är och att den beror av förhållanden mellan olika ämnen och inte bara av mängden av ett ämne.

15.1 Hur använder man ett ternärt tillståndsdigram?

För att kunna utvärdera en bränsleaska med ett tillståndsdigram måste man normera halterna av de i tillståndsdigrammet ingående askkomponenterna, det vill säga man sätter deras summa till 100 % och beräknar hur stor del av helheten varje komponent utgör. Dessa normeringar har utförts för bränsleprov 1-5 och den enkla beräkningen visas för bränsleprov 1. Siffrorna är hämtade från bilaga 12-16.

Normering av bränsleprov 1:

$$100\% = \text{SiO}_2 + \text{CaO} + \text{K}_2\text{O} = 11 + 52 + 5,2 = 68,2$$

$$\text{SiO}_2(\text{tillståndsdigram}) = \frac{11}{68,2} = 16,13\%$$

$$\text{CaO}(\text{tillståndsdigram}) = \frac{52}{68,2} = 76,25\%$$

$$\text{K}_2\text{O}(\text{tillståndsdigram}) = \frac{5,2}{68,2} = 7,62\%$$

Normering av bränsleprov 2:

$$\text{SiO}_2(\text{tillståndsdigram}) = 29,01 \%$$

$$\text{CaO}(\text{tillståndsdigram}) = 62,15 \%$$

$$\text{K}_2\text{O}(\text{tillståndsdigram}) = 8,84 \%$$

Normering av bränsleprov 3:

$$\text{SiO}_2(\text{tillståndsdigram}) = 19,73 \%$$

$$\text{CaO}(\text{tillståndsdigram}) = 69,80 \%$$

$$\text{K}_2\text{O}(\text{tillståndsdigram}) = 10,47 \%$$

Normering av bränsleprov 4:

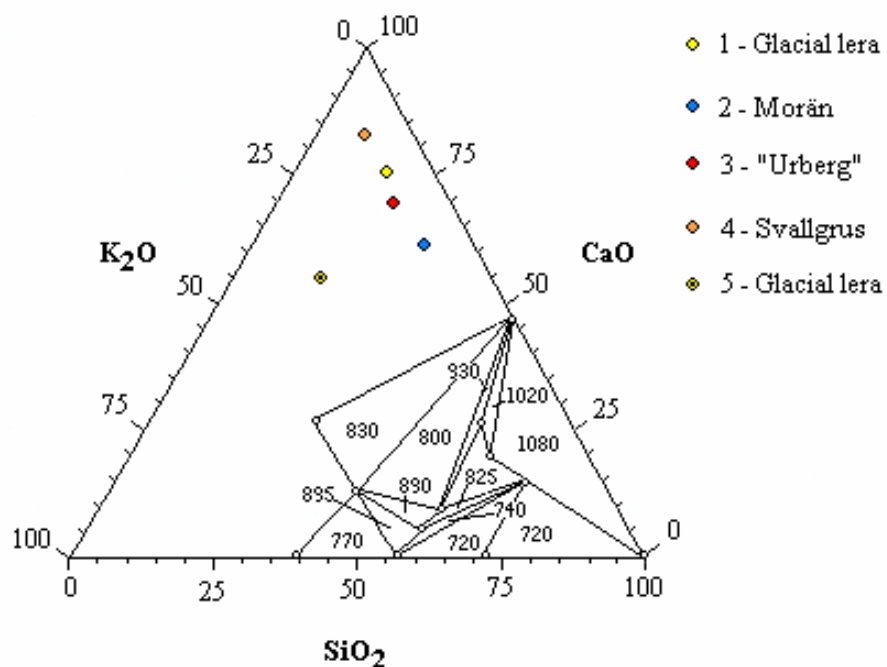
$$\text{SiO}_2(\text{tillståndsdigram}) = 8,44 \%$$

CaO(tillståndsdigram)= 82,81 %
K₂O(tillståndsdigram)= 8,75 %

Normering av bränsleprov 5:

SiO₂(tillståndsdigram)= 14,49 %
CaO(tillståndsdigram)= 55,07 %
K₂O(tillståndsdigram)= 30,43 %

När normeringen är avklarad kan den aktuella askblandningen ritas in i tillståndsdigrammet som en punkt där de utdragna linjerna från framräknat procenttal på respektive axel möts. Punkten kan ge en ungefärlig uppfattning om vid vilken temperatur askblandningen kommer att börja smälta. Nedan visas ett tillståndsdigram av systemet SiO₂ – CaO – K₂O med resultaten för prov 1-5 inritade.



Figur 20. Tillståndsdigram med de normerade bränsleaskorna inritade. Alla siffror i diagrammet är i grader Celsius.

Som synes hamnar prov 1-5 i triangelndiagrammets topp där inga solidusnivåer finns inritade, vilket betyder att den delen av triangeln inte har blivit undersökt. Det här tillståndsdigrammet ger alltså ingen information om de aktuella askornas smältbeteende.

15.2 Tillståndsdigram för järn

Eftersom roterugnsförsöken resulterade i en smälta av framförallt järn och syre har även tillståndsdigram för system av olika järnoxider studerats, samt järnoxid i kombination med andra enligt SEM-analysen förekommande ämnen. I tabell 11 nedan visas exempel på sådana system (The American Ceramic Society). Endast system som kan bilda eutektikum vid temperaturer under 1000 °C har bedömts relevanta nog att ta med.

Tabell 11. *Tabell över system innehållande järn eller järnoxid med smälttemperatur under 1000 °C.*

nr	System	Smälttemperatur eutektikum
1	$\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-P}_2\text{O}_5$	970 °C
2	$\text{K}_2\text{Si}_2\text{O}_5\text{-FeO-SiO}_2$	<800 °C
3	$\text{K}_2\text{Si}_6\text{O}_{13}\text{-K}_2\text{Fe}_2\text{Si}_6\text{O}_{16}$	(750 °C), 910 °C
4	FeO-FeS	940 °C
5	$\text{FeO(+Fe}_2\text{O}_3\text{)-P}_2\text{O}_5$	940 °C

Tabell 11 visar att det finns några ”järnsystem” som kan bilda eutektikum med smälttemperaturer nära 800 °C. Lägst smälttemperaturer förekommer enligt tabellen för system 2 och 3, men båda dessa innehåller kalium, vilket enligt SEM-analysen inte alls förekommer i den inre delen av smältan.

Som tidigare beskrivits är SEM-analysen inte 100 % tillförlitlig i detta fall eftersom provets yta var mycket ojämn. De värden från SEM-analysen som ej normaliserats (se bilaga 11) vittnar dessutom om stora skillnader i totala halten av ämnen, det vill säga summan av alla procenttal blir inte hundra. Det innebär att smältan kan innehålla fler ämnen som inte upptäcktes vid analystillfället eller andra halter av de ämnen som redan redovisats. En korrekt analys av smältans innehåll (vilket inte är möjligt att genomföra) hade kanske kunnat ge ett annat resultat och en möjlighet att förklara smältans uppkomst med hjälp av tillståndsdigram.

16 Diskussion

Om asksmältans innehåll av järnoxid hade varit känt redan innan jordproverna skickades till Sveriges lantbruksuniversitet för analys skulle naturligtvis järnhalten ha funnits med på listan över beställda delanalyser. Ett analysresultat av de olika marktypernas innehåll av växttillgängligt järn hade kunnat visa om träden ökar sitt upptag av järn vid ökad tillgång i marken eller inte.

En möjlig anledning till de otydliga resultaten av bränsleanalyserna kan vara bristande noggrannhet vid uttaget av proven. Om större vikt hade lagts vid att hitta fyra provträd i samma kondition och att alla prov hade innehållit samma andel barr, stamved, bark och så vidare hade resultaten kanske blivit tydligare. Ytterligare en bidragande orsak kan ha varit malningen av bränsleproverna. En del av bränslet gick förlorat i kvarnen eftersom det var för fuktigt och segt för att malas till den önskade fraktionen och istället fastnade i kvarnen. Den bästa lösningen på det problemet hade naturligtvis varit att göra som man gjorde på AnalyCen, det vill säga torka bränslet innan malning.

Analysresultatet av bränsleprov 5 visade att andelen barr har stor inverkan på halten av exempelvis kalium och natrium och ett sätt att minska risken för beläggningar i pannan kan därför vara att endast köpa "brun" grot, det vill säga grot som har lagrats i välta innan den eldas i pannan. Trots att grot i välter oftast skyddas av papp utsätts den för en hel del nederbörd som påskyndar utlakning av näringsämnen. "Brun grot" innehåller därför lägre halter av beläggningsbildande ämnen jämfört med färsk "grön grot". Eftersom näringslösningen transporteras i kanaler som går längs med trädens grenar skulle man kunna skynda på utlakningen ytterligare genom att hacka groten så att dessa kanaler skärs av och näringslösningen lättare rinner ut ur grenarna. Genom att låta groten ligga kvar i skogen en tid innan den körs bort blir man alltså av med en stor del av de beläggningsbildande ämnena samtidigt som skogsmarken får tillbaka en stor del av den näring som träden har tagit upp medan de vuxit.

Inför provtagningen när jordartskartor och terrängkartor studerades konstaterades att en mycket stor del av alla lermarksområden idag fungerar som åkermark. Det innebär att "lerväxta" grannar inte är särskilt vanligt förekommande i bränsle som levereras från hyggen i skog. Om sambandet mellan lerrik växtplats och beläggningsbildning i pannor bevisas kan detta komma att få betydelse främst vid avverkning vid åkerkanter eller igenplantering av åkermark.

SGU (Sveriges geologiska undersökning) har arbetat för att ta fram kartor som visar koncentrationen av enskilda ämnen i marken. Sådana kartor för exempelvis kalium skulle kunna vara mycket användbara och ge en exaktare uppfattning om var det finns mycket kalium i marken jämfört med jordartskartorna. Möjligheten att använda dessa kartor undersöktes i ett tidigt skede i arbetet men det visade sig att kartorna inte täckte Enköpings kommun.

Detta examensarbete har varit inledningen på ett arbete som kan komma att bevisa att vissa skogsområden lämpar sig bättre för uttag av grot än andra. Om bevisning av detta läggs fram kan växtplatsen bli en viktig faktor för prissättning av grot i

framtiden. ENA Kraft kan då hävda att den ”lerväxta” groten är ett ur beläggningssynpunkt sämre bränsle och därför inte lika värdefullt. Det kan bidra till att skapa en bättre grund för prissättning av grot jämfört med den som finns idag. Den nya prissättningen skulle i sådant fall baseras på bränslets kvalitet vilket är det mest väsentliga för ENA Kraft och andra liknande aktörer på marknaden.

17 Slutsats

Två olika metoder för bestämning av bränsleaskors smältpunkt visade att askan från den gran som vuxit på glacial lera började smälta tidigare än övriga askor, enligt den hypotes som lades fram under arbetets inledande fas. SEM-analys av den smälta som bildades ur prov 1 vid roterugnsförsöken visade att smältan huvudsakligen bestod av järnoxid. Detta påvisar tillsammans med bränsleanalyserna, ett samband mellan askors järnhalt och smälttemperatur. Mycket järn tycks innebära större risk för bildning av eutektikum av järnoxider.

Trots att jordproverna visade att utbudet av växttillgänglig näring är störst för de lerrika växtplatserna har endast små variationer i kalium-, kalcium- och natriumhalt observerats i bränsleanalyserna.

Analys av bränsleprov 5 visade något som redan tidigare varit känt, nämligen att en större andel barr i provet ger en högre halt av vissa näringsämnen, bland andra kalium och natrium som är viktiga för beläggingsbildningen. Det kan därför konstateras att barrandelen har större betydelse för halten av vissa beläggingsbildande ämnen än växtplatsen.

De tre olika hjälpmedel som använts för den teoretiska bedömningen av askornas smältbenägenhet har alla brister. Eftersom Segerformeln bygger på en kvot mellan syra och bas resulterar den, i ett fall som detta då halten basiska ämnen är ungefär den samma för alla askorna, i att askblandningen med lägst kiselhalt får lägst smälttal. Detta är dock ingen korrekt bedömning eftersom förhållandet mellan kisel och exempelvis kalium är betydligt viktigare för beläggningstendensen än den totala mängden kisel. Det går inte att säga generellt om höga eller låga kiselhalter är bäst och Segerformeln bör därför ses som otillräcklig för att bedöma en bränsleaskas beläggingsbenägenhet.

När det gäller nyckeltalen ska man komma ihåg att dessa är framtagna för att tillämpas på askor från pannor med fluidiserande sandbädd. I sådana pannor har man en betydligt högre kiselhalt till följd av just sandbädden, som till mycket stor del består av kiseloxid. Nyckeltal som innehåller järn är dessutom osäkra eftersom järn kan oxideras på många olika sätt och befinna sig i flera olika oxiderade tillstånd samtidigt. Man brukar därför undvika nyckeltal med järn när man ska tolka smältbeteendet hos en bränsleaska. Om nyckeltal ska kunna användas vid tolkning av järnsmältor måste nya tal utvecklas. De nyckeltal som finns idag kan användas för att göra grova uppskattningar av askors smältbeteenden.

Binära och ternära tillståndsdigram är bra hjälpmedel vid bedömning av bränsleaskors beläggingsbenägenhet. Diagram som visar solidusnivåer istället för det vanliga liqvidusnivåerna är att föredra eftersom solidusnivåer visar vid vilken temperatur askan börjar bli klibbig. Liqvidusnivåer visar vid vilken temperatur en askblandning är helt flytande och det är mindre intressant när man vill förutspå beläggingsbildning. Tillståndsdigram visar vilka blandningsförhållanden som ger risk för eutektikum och gör dessa mycket komplicerade system överskådliga. Tyvärr har tillståndsdigrammen begränsats till att omfatta endast de vanligaste områdena, vilket innebär att de inte alltid kan användas. En fortsatt utveckling av

tillståndsdigram så att de täcker upp alla intressanta fördelningar mellan askkomponenter är därför önskvärt.

17.1 Fortsatt arbete

- För att bekräfta att bränslets järnhalt har stor inverkan på beläggingsbildningen krävs att fler bränsleprov testas med avseende på smälttemperatur.
- För att komma underfund med vilka markegenskaper som bäddar för ett stort upptag av järn i träden krävs till exempel analys av organiska ämnen i marken.
- För att hitta en koppling mellan markens innehåll av andra näringsämnen och trädens kemiska sammansättning bör fler platser väljas ut för provtagning och fler jord- och bränsleprover analyseras.
- Tillståndsdigram baserade på solidusnivåer bör vidareutvecklas så att de kan användas som verktyg vid utvärderingen av alla bränsleaskor.
- Utveckling av nyckeltal som är anpassade för tillämpning på järnrika askor från rosterpannor skulle underlätta arbetet.
- ENA Krafts regelbundna bränsleanalyser kan få ett mervärde om växtplatsen för varje uttaget prov noteras så långt det är möjligt. Sambandet mellan marktyp och näringsämnen i bränslet kan då till viss del undersökas (exempelvis med hjälp av jordartskartorna) utan att någon extra provtagning krävs.

18 Referenser

18.1 Muntliga

- Zintl, F.
Termiska Processer, Nyköping
- Ericsson, T.
Universitetslektor vid institutionen för landskapsplanering,
Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala
- Larsson, O.
Naturbränsle, Enköping
- Ledin, S.
Universitetslektor vid institutionen för markvetenskap
Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala
- Ericsson, J.
Forskare vid institutionen för markvetenskap
Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala
- Johansson, E.
VD ENA Kraft AB, Enköping
- Holmlund, J.
Bränsleansvarig
Enköpings värmeverk AB, Enköping
- Axelsson, B.
AnalyCen, Lidköping

18.2 Tryckta

- Kallner, P., Zint, F. & Engvall, K. 1999. Sintring/Påslag i högtemperaturdelen TPS-99/35*
- Zint, F. & Ljungdahl, B. 2002. TPS Branschforskningsprogram för Energiverk 2001/02, Alternativa bäddmaterial i FB/CFB-pannor, TPS-02/18
- Berg, M. 2004. Syntesrapport från Energimyndigheten sammanställd av ÅF, Förbränning och förgasning av fasta bränslen för kraftvärmeproduktion
- Fredholm, A. 2004. Glasyr
- Kirchmann, H. & Ericsson, J. 1987. Aktuellt från lantbruksuniversitetet 358, Kisel i mark och gröda
- Ledin, S. 2001. Kapitlet "mark" ur växt produktion i jordbruket, red. Håkan Fogelfors
- Ramström, E. 2004. Ramström, E., Zintl, F., Pommer, L. & Öhman, M. 2004. TPS Branschforskningsprogram för Energiverk 2003/04, Slutrapport inom området FB/CFB-teknik, Roterugn för övervakning av risk för sintring av bädd TPS-04/27
- The American Ceramic Society. Phase Diagrams for Ceramists, Volym 1-3

18.3 Internet

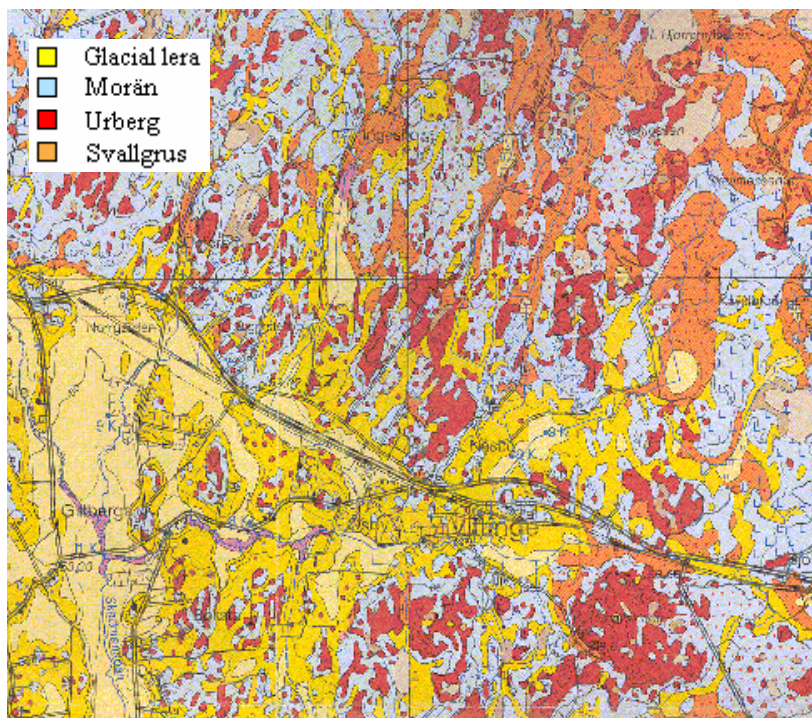
Markinfo. Skapad av institutionen för skoglig marklära, Sveriges
lantbruksuniversitet, Uppsala, <http://www-markinfo.slu.se> (2004-10-15)
Enköpings värmeverk AB. <http://www.varmeverket.enkoping.se> (2004-09-15).

Nyckeltal

Benämning	Formel	Tolkning
Alkalinitetstal 1a	$\frac{2Ca + 3Fe + Na + 2Mg + K}{2Si + Al + 3P + 2Ti}$	<1: underskott av alkalinitet >1: överskott av alkalinitet
Alkalinitetstal 1b	$\frac{Na + K}{2Si + Al + 3P + 2Ti}$	<1: underskott av alkalinitet >1: överskott av alkalinitet
Alkalinitetstal 2	$\frac{2Ca + K + 2Mg + Na}{2Si + Al + 3P + 2Ti}$	<1: underskott av reaktiv alkalinitet >1: överskott av reaktiv alkalinitet
Saltkvot 1	$\frac{Cl + 2S}{K + Na}$	>1: All fri alkalimetall kan bindas som klorid eller sulfat. <1: Allt klor och svavel kan bindas till alkali (om all alkali är fri).
Saltkvot 2	$\frac{Cl + 3P + 2S}{K + Na}$	>1: All fri alkalimetall kan bindas som vattenlösligt salt.
Sulfateringstal	$\frac{2S}{Cl}$	<1: All klorid kan inte överföras till sulfat. >1: All klorid kan överföras till sulfat.
Förångningskvot	$\frac{Cl}{K + Na}$	>1: All fri alkali kan förångas som klorid. (Visar andelen alkali som lätt kan förångas som flyktig klorid.)
Fältspattal 1	$\frac{2Si}{Al}$	<6: All silikat kan föreligga som eller bilda aluminosilikat eller fältspat. >6: Delar av kisel syran kan bilda lågsmältande alkalisilikat.
Fältspattal 2	$\frac{Al}{K + Na}$	>1: All alkali är bunden eller kan bindas till de relativt högsmältande aluminosilikaterna av fältspattyp.
Förglasningstal (Sodaglastal)	$\frac{2(K + Na)}{3Si}$	0,5–1: Stor risk för bildning av lågsmältande glasfaser (smältpunkt kring 750 °C). 0,25 – 0,5 och >1: mindre risk <0,25: liten risk (liten andel smälta)
Eutektikumstal 1	$\frac{K}{K + Na}$	Nära 1 eller nära 0: bra 0,2 – 0,9: dåligt
Eutektikumstal 2	$\frac{Ca}{Ca + Mg}$	Nära 1 eller nära 0: bra Nära 0,5: mindre bra

Viktningstal för beräkning med nyckeltal

Ämne	Viktningstal
Si	1
Al	0,5
Ca	1
Fe	1,5
K	0,5
Mg	1
Na	0,5
P	1,5
Ti	1
S	1
SO ₃	1
Cl	0,5



Jordartskarta över Vittingeområdet



Terrängkarta över Vittingeområdet

Ena Kraft AB
Jan Holmlund
Kaptensgatan 22
745 25 Enköping

Rapport utfärdad av
ackrediterat laboratorium

Report issued by
Accredited Laboratory



Journalnr	BE000538-04	Sida 1 (2)	
Kundnr	8585208-630981		
Provtyp	Bränsle, energi		
		Provtagningsdatum	2004-06-24
		Provet ankom	2004-06-17
		Analysrapport klar	2004-07-08
Provets märkning	D		

Analysnamn	Resultat	Enhet	Mäto.	Metod/ref	Ort
Klor Cl	0.05	% Ts	± 25 %	ASTM-D 4208	G
Svavel S	0.73	% Ts	± 10 %	ASTM-D 4239 C	L
Kisel Si	22	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kiseloxid SiO ₂	47	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Aluminium Al	2.5	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Aluminiumoxid Al ₂ O ₃	4.7	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kalcium Ca	17	% Ts	± 20 %	SS028150-2	L
Kalciumoxid CaO	24	% Ts	± 20 %	SS028150-2	L
Järn Fe	1.4	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Järnoxid Fe ₂ O ₃	2.0	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kalium K	8.5	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kaliumoxid K ₂ O	10	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Magnesium Mg	1.8	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Magnesiumoxid MgO	3.0	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Mangan Mn	0.94	% Ts	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Manganoxid MnO ₂	1.5	% Ts	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Natrium Na	0.73	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Natriumoxid Na ₂ O	0.99	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Fosfor P	1.3	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Fosforoxid P ₂ O ₅	3.0	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Titan Ti	0.13	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Titanoxid TiO ₂	0.22	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Antimon Sb	<2.5	mg/kg TS	± 20 % B	EN 13656 mod.	L
Arsenik As	4.9	mg/kg TS	± 25 %	EN 13656 mod.	L
Bly Pb	52	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Barium Ba	1900	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Beryllium Be	<2.5	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Bor B	220	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kadmium Cd	16	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Kobolt Co	14	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Koppar Cu	220	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Krom Cr	69	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Kviksilver Hg	<0.05	mg/kg TS	± 25 %	SS028150-2	L
Molybden Mo	2.9	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Nickel Ni	41	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
			± %		

Journalnr	BE000538-04	Sida 2 (2)
Kundnr	8585208-630981	
Provtyp	Bränsle, energi	

Analysnamn	Resultat	Enhet	Mäto.	Metod/ref	Ort
Vanadin V	29	mg/kg Ts	25	EN 13656 mod.	L
Tenn Sn	<2.5	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Zink Zn	3200	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L

Bengt Axelsson

Analysansvarig

Ena Kraft AB
Jan Holmlund
Kaptensgatan 22
745 25 Enköping

Rapport utfärdad av
ackrediterat laboratorium

Report issued by
Accredited Laboratory



Journalnr	BE000537-04	Sida 1 (2)	
Kundnr	8585208-630981		
Provtyp	Bränsle, energi		
		Provtagningsdatum	2004-06-24
		Provet ankom	2004-06-17
		Analysrapport klar	2004-07-08
Provets märkning	C		

Analysnamn	Resultat	Enhet	Mäto.	Metod/ref	Ort
Klor Cl	1.3	% Ts	± 25 %	ASTM-D 4208	G
Svavel S	8.6	% Ts	± 10 %	ASTM-D 4239 C	L
Kisel Si	2.6	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kiseloxid SiO ₂	5.6	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Aluminium Al	0.45	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Aluminiumoxid Al ₂ O ₃	0.85	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kalcium Ca	8.5	% Ts	± 20 %	SS028150-2	L
Kalciumoxid CaO	12	% Ts	± 20 %	SS028150-2	L
Järn Fe	0.62	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Järnoxid Fe ₂ O ₃	0.89	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kalium K	32	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kaliumoxid K ₂ O	39	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Magnesium Mg	0.86	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Magnesiumoxid MgO	1.4	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Mangan Mn	0.42	% Ts	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Manganoxid MnO ₂	0.66	% Ts	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Natrium Na	0.52	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Natriumoxid Na ₂ O	0.70	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Fosfor P	0.71	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Fosforoxid P ₂ O ₅	1.6	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Titan Ti	0.03	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Titanoxid TiO ₂	0.050	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Antimon Sb	5.8	mg/kg TS	± 20 % B	EN 13656 mod.	L
Arsenik As	11	mg/kg TS	± 25 %	EN 13656 mod.	L
Bly Pb	900	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Barium Ba	870	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Beryllium Be	<2.5	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Bor B	360	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kadmium Cd	770	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Kobolt Co	8.5	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Koppar Cu	710	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Krom Cr	44	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Kviksilver Hg	<0.05	mg/kg Ts	± 25 %	SS028150-2	L
Molybden Mo	8.2	mg/kg Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Nickel Ni	21	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
			± %		

Journalnr	BE000537-04	Sida 2 (2)
Kundnr	8585208-630981	
Provtyp	Bränsle, energi	

Analysnamn	Resultat	Enhet	Mäto.	Metod/ref	Ort
Vanadin V	11	mg/kg Ts	25	EN 13656 mod.	L
Tenn Sn	5.4	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Zink Zn	35000	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L

Bengt Axelsson

Analysansvarig

Ena Kraft AB
Jan Holmlund
Kaptensgatan 22
745 25 Enköping

Rapport utfärdad av
ackrediterat laboratorium

Report issued by
Accredited Laboratory



Journalnr	BE000536-04	Sida 1 (2)	
Kundnr	8585208-630981		
Provtyp	Bränsle, energi		
		Provtagningsdatum	2004-06-24
		Provet ankom	2004-06-17
		Analysrapport klar	2004-07-08
Provets märkning	B		

Analysnamn	Resultat	Enhet	Mäto.	Metod/ref	Ort
Klor Cl	0.06	% Ts	± 25 %	ASTM-D 4208	G
Svavel S	2.1	% Ts	± 10 %	ASTM-D 4239 C	L
Kisel Si	5.3	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kiseloxid SiO ₂	11	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Aluminium Al	1.2	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Aluminiumoxid Al ₂ O ₃	2.3	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kalcium Ca	27	% Ts	± 20 %	SS028150-2	L
Kalciumoxid CaO	38	% Ts	± 20 %	SS028150-2	L
Järn Fe	0.85	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Järnoxid Fe ₂ O ₃	1.2	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kalium K	14	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kaliumoxid K ₂ O	17	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Magnesium Mg	2.1	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Magnesiumoxid MgO	3.5	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Mangan Mn	1.1	% Ts	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Manganoxid MnO ₂	1.7	% Ts	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Natrium Na	0.76	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Natriumoxid Na ₂ O	1.0	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Fosfor P	1.8	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Fosforoxid P ₂ O ₅	4.1	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Titan Ti	0.07	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Titanoxid TiO ₂	0.12	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Antimon Sb	<2.5	mg/kg TS	± 20 % B	EN 13656 mod.	L
Arsenik As	9.5	mg/kg TS	± 25 %	EN 13656 mod.	L
Bly Pb	51	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Barium Ba	2100	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Beryllium Be	<2.5	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Bor B	900	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kadmium Cd	180	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Kobolt Co	14	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Koppar Cu	290	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Krom Cr	85	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Kviksilver Hg	<0.05	mg/kg TS	± 25 %	SS028150-2	L
Molybden Mo	7.6	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Nickel Ni	42	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
			± %		

Journalnr	BE000536-04	Sida 2 (2)				
Kundnr	8585208-630981					
Provtyp	Bränsle, energi					

Analysnamn	Resultat	Enhet	Mäto.	Metod/ref	Ort
Vanadin V	22	mg/kg Ts	25	EN 13656 mod.	L
Tenn Sn	2.9	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Zink Zn	7800	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L

Bengt Axelsson

Analysansvarig

Ena Kraft AB
Jan Holmlund
Kaptensgatan 22
745 25 Enköping

Rapport utfärdad av
ackrediterat laboratorium

Report issued by
Accredited Laboratory



Journalnr	BE000539-04	Sida 1 (2)
Kundnr	8585208-630981	
Provtyp	Bränsle, energi	
Provtagningsdatum		2004-06-24
Provet ankom		2004-06-17
Analysrapport klar		2004-07-08
Provets märkning	E	

Analysnamn	Resultat	Enhet	Mäto.	Metod/ref	Ort
Klor Cl	1.3	% Ts	± 25 %	ASTM-D 4208	G
Svavel S	5.4	% Ts	± 10 %	ASTM-D 4239 C	L
Kisel Si	3.1	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kiseloxid SiO ₂	6.6	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Aluminium Al	0.64	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Aluminiumoxid Al ₂ O ₃	1.2	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kalcium Ca	13	% Ts	± 20 %	SS028150-2	L
Kalciumoxid CaO	18	% Ts	± 20 %	SS028150-2	L
Järn Fe	0.57	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Järnoxid Fe ₂ O ₃	0.82	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kalium K	32	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kaliumoxid K ₂ O	39	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Magnesium Mg	1.4	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Magnesiumoxid MgO	2.3	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Mangan Mn	0.60	% Ts	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Manganoxid MnO ₂	0.95	% Ts	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Natrium Na	0.65	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Natriumoxid Na ₂ O	0.88	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Fosfor P	1.1	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Fosforoxid P ₂ O ₅	2.5	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Titan Ti	0.04	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Titanoxid TiO ₂	0.067	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Antimon Sb	4.0	mg/kg TS	± 20 % B	EN 13656 mod.	L
Arsenik As	14	mg/kg TS	± 25 %	EN 13656 mod.	L
Bly Pb	600	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Barium Ba	1300	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Beryllium Be	<2.5	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Bor B	880	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kadmium Cd	410	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Kobolt Co	8.4	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Koppar Cu	390	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Krom Cr	58	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Kviksilver Hg	<0.05	mg/kg TS	± 25 %	SS028150-2	L
Molybden Mo	9.4	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Nickel Ni	27	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
			± %		

Journalnr	BE000539-04	Sida 2 (2)
Kundnr	8585208-630981	
Provtyp	Bränsle, energi	

Analysnamn	Resultat	Enhet	Mäto.	Metod/ref	Ort
Vanadin V	14	mg/kg Ts	25	EN 13656 mod.	L
Tenn Sn	5.4	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Zink Zn	11000	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L

Bengt Axelsson

Analysansvarig



Ena Kraft AB
Jan Holmlund
Kaptensgatan 22
745 25 Enköping

Rapport utfärdad av
ackrediterat laboratorium

Report issued by
Accredited Laboratory



Journalnr	BE000535-04	Sida 1 (2)
Kundnr	8585208-630981	
Provtyp	Bränsle, energi	
	Provtagningsdatum	2004-06-24
	Provet ankom	2004-06-17
	Analysrapport klar	2004-07-08
Provets märkning	A	

Analysnamn	Resultat	Enhet	Mäto.	Metod/ref	Ort
Klor Cl	0.01	% Ts	± 25 %	ASTM-D 4208	G
Svavel S	0.14	% Ts	± 10 %	ASTM-D 4239 C	L
Kisel Si	22	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kiseloxid SiO ₂	47	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Aluminium Al	2.6	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Aluminiumoxid Al ₂ O ₃	4.9	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kalcium Ca	15	% Ts	± 20 %	SS028150-2	L
Kalciumoxid CaO	21	% Ts	± 20 %	SS028150-2	L
Järn Fe	1.4	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Järnoxid Fe ₂ O ₃	2.0	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kalium K	8.6	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kaliumoxid K ₂ O	10	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Magnesium Mg	1.7	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Magnesiumoxid MgO	2.8	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Mangan Mn	0.97	% Ts	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Manganoxid MnO ₂	1.5	% Ts	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Natrium Na	1.0	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Natriumoxid Na ₂ O	1.4	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Fosfor P	1.1	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Fosforoxid P ₂ O ₅	2.5	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Titan Ti	0.11	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Titanoxid TiO ₂	0.18	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Antimon Sb	<2.5	mg/kg TS	± 20 % B	EN 13656 mod.	L
Arsenik As	6.5	mg/kg TS	± 25 %	EN 13656 mod.	L
Bly Pb	30	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Barium Ba	1800	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Beryllium Be	<2.5	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Bor B	130	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kadmium Cd	5.0	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Kobolt Co	13	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Koppar Cu	140	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Krom Cr	180	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Kviksilver Hg	<0.05	mg/kg Ts	± 25 %	SS028150-2	L
Molybden Mo	3.6	mg/kg Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Nickel Ni	42	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
			± %		

Journalnr	BE000535-04	Sida 2 (2)
Kundnr	8585208-630981	
Provtyp	Bränsle, energi	

Analysnamn	Resultat	Enhet	Mäto.	Metod/ref	Ort
Vanadin V	27	mg/kg Ts	25	EN 13656 mod.	L
Tenn Sn	<2.5	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Zink Zn	1300	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L

Bengt Axelsson

Analysansvarig

Analysresultat jordprover



Institutionen för markvetenskap

Avdelningen för växtnäringslära

[illegible]

Fukthalt

Prov	Degel	Degel före [g]	Degel + prov [g]	Degel + inaskat prov [g]	Provvikt [g]	Fukt [g]	Fukt [%]	Fukt per prov [%]
1	1:1	55,0631	60,2812	58,7576	5,2181	1,5236	29,2	29
	1:2	53,5398	58,6341	57,1743	5,0943	1,4598	28,7	
2	2:1	59,9278	65,464	63,5002	5,5362	1,9638	35,5	36
	2:2	58,9317	63,66	61,928	4,7283	1,732	36,6	
3	3:1	54,9299	60,1614	59,1265	5,2315	1,0349	19,8	19
	3:2	54,6213	59,5036	58,5786	4,8823	0,925	18,9	
4	4:1	49,0570	54,168	52,5445	5,111	1,6235	31,8	32
	4:2	53,8189	58,7645	57,1352	4,9456	1,6293	32,9	

Askhalt

Prov	Degel	Degel före [g]	Degel + prov [g]	Degel + inaskat prov [g]	Provvikt [g]	glödförlust [g]	Aska [g]	Askhalt [%]	Askhalt per prov [%]
1	1:1	51,7614	56,679	51,8814	4,9176	4,7976	0,1200	2,4402	2,52
	1:2	50,6101	55,755	50,7439	5,1449	5,0111	0,1338	2,6006	
2	2:1	54,9125	59,5347	55,0282	4,6222	4,5065	0,1157	2,5031	2,61
	2:2	54,2777	59,9144	54,4308	5,6367	5,4836	0,1531	2,7161	
3	3:1	53,7174	58,9661	53,8027	5,2487	5,1634	0,0853	1,6252	1,60
	3:2	55,3435	60,3808	55,423	5,0373	4,9578	0,0795	1,5782	
4	4:1	57,0833	62,1437	57,1796	5,0604	4,9641	0,0963	1,9030	2,06
	4:2	50,1807	55,1464	50,2905	4,9657	4,8559	0,1098	2,2112	

Resultat SEM-analys

Project: ENA Kraft 049369

Sample: Sintrad aska

All results in Weight Percent

Site: Utsida

Ej normaliserat (summor blir olika på grund av ojämn yta och inhomogenitet)

	O	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca	Mn	Fe	Zn	Total
Spectrum 1	9,13	0,7	0,55	1,7	0,3		0,18	7,11	0,29	16,9		36,87
Spectrum 2	31,35	1,72	0,41	0,91	0,34	0,26		10,2	0,41	54,47		100,08
Spectrum 3	10,02	0,78	0,41	1,04	0,38		0,17	6,57	0,42	25,71	0,7	46,19

Normaliserat (lättare att jämföra)

	O	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca	Mn	Fe	Zn	Total
Spectrum 1	24,75	1,9	1,49	4,61	0,81		0,49	19,3	0,79	45,86		100
Spectrum 2	31,33	1,72	0,41	0,91	0,34	0,26		10,19	0,41	54,42		100
Spectrum 3	21,68	1,69	0,89	2,25	0,82		0,36	14,22	0,9	55,67	1,51	100

Site: Tvärsnitt

Ej normaliserat (summor blir olika på grund av ojämn yta)

	O	Si	Ca	Fe	Co	Total	
Spectrum 1	13,43			44,25	0,15	57,83	
Spectrum 2	30,17	0,76	0,3	66,28		97,51	Närmare utsida
Spectrum 3	2,98			20,23		23,21	

Normaliserat (lättare att jämföra)

	O	Si	Ca	Fe	Co	Total	
Spectrum 1	23,23			76,52	0,25	100	
Spectrum 2	30,94	0,78	0,31	67,97		100	Närmare utsida
Spectrum 3	12,84			87,16		100	

Analysrapport

Lidköping

Enköpings Värmeverk AB
Sofia Ericson
Box 910
745 25 Enköping

Rapport utfärdad av
ackrediterat laboratorium

Report issued by
Accredited Laboratory



Journalnr	BE000678-04	Sida 1 (1)
Kundnr	8438000-654257	
Provtyp	Bränsle, energi	
Provtagningsdatum		
2004-09-01		
Provet ankom		
2004-08-31		
Analysrapport klar		
2004-09-27		
Provets märkning	Gran 1	

Analysnamn	Resultat	Enhet	Mäto.	Metod/ref	Ort
Fukthalt	37.0	%	± 6 %	SS 187170	L
Askhalt	3.4	% Ts	± 15 %	SS 187171	L
Klor Cl	<0.01	% Ts	± 25 %	ASTM-D 4208	G
Svavel S	0.03	% Ts	± 10 %	ASTM-D 4239 C	L
Antimon Sb	<0.22	mg/kg TS	± 20 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Bor B	<5.4	mg/kg TS	± 20 % B	ALC208:902; ICP-MS	L
Aluminium Al	230	mg/kg TS	± 25 %	ALC208:902; ICP-MS	L
Kalcium Ca	10100	mg/kg TS	± 15 %	NMKL161 mod.; ICP-AES	L
Järn Fe	670	mg/kg TS	± 20 %	NMKL161 mod.; ICP-AES	L
Kalium K	1500	mg/kg TS	± 10 %	NMKL161 mod.; ICP-AES	L
Magnesium Mg	450	mg/kg TS	± 15 %	NMKL161 mod.; ICP-AES	L
Mangan Mn	140	mg/kg TS	± 15 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Natrium Na	<54	mg/kg TS	± 30 %	NMKL161 mod.; ICP-AES	L
Arsenik As	0.19	mg/kg TS	± 35 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Bly Pb	5.6	mg/kg TS	± 15 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Fosfor P	290	mg/kg TS	± 15 %	NMKL161 mod.; ICP-AES	L
Barium Ba	60	mg/kg TS	± 20 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Kadmium Cd	0.47	mg/kg TS	± 20 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Kobolt Co	0.57	mg/kg TS	± 15 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Koppar Cu	4.7	mg/kg TS	± 15 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Krom Cr	4.2	mg/kg TS	± 20 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Kviksilver Hg	<0.02	mg/kg TS	± 30 %	NMKL170 mod.; AFS (kallf.)	L
Molybden Mo	0.15	mg/kg TS	± 35 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Nickel Ni	1.6	mg/kg TS	± 25 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Vanadin V	1.1	mg/kg TS	± 20 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Tenn Sn	1.2	mg/kg TS	± 40 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Zink Zn	120	mg/kg TS	± 15 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Kisel Si	2000	mg/kg TS	± 30 % B	ALC208:201; AAS (flamma)	L
Selen Se	<0.05	mg/kg TS	± 35 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Titan Ti	19	mg/kg TS	± 20 %	NMKL161 mod.; ICP-AES	L

Bengt Axelsson

Analysansvarig



Enköpings Värmeverk AB
Sofia Ericson
Box 910
745 25 Enköping

Rapport utfärdad av
ackrediterat laboratorium

Report issued by
Accredited Laboratory



Journalnr	BE000679-04	Sida 1 (2)
Kundnr	8438000-654257	
Provtyp	Bränsle, energi	
	Provtagningsdatum	2004-09-01
	Provet ankom	2004-08-31
	Analysrapport klar	2004-09-27
Provets märkning	Gran 1, inaskat	

Analysnamn	Resultat	Enhet	Mäto.	Ref/instr.	Ort
Kisel Si	5.0	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kiseloxid SiO ₂	11	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Aluminium Al	0.91	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Aluminiumoxid Al ₂ O ₃	1.7	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kalcium Ca	37	% Ts	± 20 %	SS028150-2	L
Kalciumoxid CaO	52	% Ts	± 20 %	SS028150-2	L
Järn Fe	1.6	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Järnoxid Fe ₂ O ₃	2.3	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kalium K	4.3	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kaliumoxid K ₂ O	5.2	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Magnesium Mg	1.2	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Magnesiumoxid MgO	2.0	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Mangan Mn	0.41	% Ts	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Manganoxid MnO ₂	0.65	% Ts	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Natrium Na	0.31	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Natriumoxid Na ₂ O	0.42	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Fosfor P	0.87	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Fosforoxid P ₂ O ₅	2.0	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Titan Ti	0.09	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Titanoxid TiO ₂	0.15	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Antimon Sb	<2.5	mg/kg TS	± 20 % B	EN 13656 mod.	L
Arsenik As	5.8	mg/kg TS	± 25 %	EN 13656 mod.	L
Bly Pb	83	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Barium Ba	1800	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Beryllium Be	<2.5	mg/kg Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kadmium Cd	1.8	mg/kg Ts	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Kobolt Co	16	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Koppar Cu	120	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Krom Cr	73	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Kvicksilver Hg	<0.05	mg/kg Ts	± 25 %	SS028150-2	L
Molybden Mo	3.4	mg/kg Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Nickel Ni	52	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Vanadin V	26	mg/kg TS	± 25 %	EN 13656 mod.	L
Tenn Sn	7.9	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Zink Zn	3200	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
			± %		

Metallerna är syrauppslutna enligt SS028311.

Förklaring till förkortningar och *, se omstående sida.



Rapport utfärdad av
ackrediterat laboratorium

Report issued by
Accredited Laboratory



Journalnr	BE000679-04	Sida 2 (2)
Kundnr	8438000-654257	
Provtyp	Bränsle, energi	

Analysnamn	Resultat	Enhet	Mäto.	Ref/instr.	Ort
Bor B	160	mg/kg Ts	15	SS028150-2	L

Bengt Axelsson

Analysansvarig

Analysrapport

Lidköping

Enköpings Värmeverk AB
Sofia Ericson
Box 910
745 25 Enköping

Rapport utfärdad av
ackrediterat laboratorium

Report issued by
Accredited Laboratory



Journalnr	BE000680-04	Sida 1 (1)
Kundnr	8438000-654257	
Provtyp	Bränsle, energi	
Provtagningsdatum		2004-09-01
Provet ankom		2004-08-31
Analysrapport klar		2004-09-27
Provets märkning	Gran 2	

Analysnamn	Resultat	Enhet	Mäto.	Metod/ref	Ort
Fukthalt	45.2	%	± 6 %	SS 187170	L
Askhalt	3.6	% Ts	± 15 %	SS 187171	L
Klor Cl	0.02	% Ts	± 25 %	ASTM-D 4208	G
Svavel S	0.04	% Ts	± 10 %	ASTM-D 4239 C	L
Antimon Sb	<0.22	mg/kg TS	± 20 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Bor B	7.3	mg/kg TS	± 20 % B	ALC208:902; ICP-MS	L
Aluminium Al	170	mg/kg TS	± 25 %	ALC208:902; ICP-MS	L
Kalcium Ca	9100	mg/kg TS	± 15 %	NMKL161 mod.; ICP-AES	L
Järn Fe	170	mg/kg TS	± 20 %	NMKL161 mod.; ICP-AES	L
Kalium K	1800	mg/kg TS	± 10 %	NMKL161 mod.; ICP-AES	L
Magnesium Mg	720	mg/kg TS	± 15 %	NMKL161 mod.; ICP-AES	L
Mangan Mn	580	mg/kg TS	± 15 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Natrium Na	75	mg/kg TS	± 30 %	NMKL161 mod.; ICP-AES	L
Arsenik As	0.07	mg/kg TS	± 35 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Bly Pb	1.9	mg/kg TS	± 15 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Fosfor P	680	mg/kg TS	± 15 %	NMKL161 mod.; ICP-AES	L
Barium Ba	110	mg/kg TS	± 20 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Kadmium Cd	0.10	mg/kg TS	± 20 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Kobolt Co	0.32	mg/kg TS	± 15 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Koppar Cu	3.7	mg/kg TS	± 15 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Krom Cr	2.6	mg/kg TS	± 20 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Kviksilver Hg	<0.02	mg/kg TS	± 30 %	NMKL170 mod.; AFS (kallf.)	L
Molybden Mo	0.12	mg/kg TS	± 35 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Nickel Ni	2.0	mg/kg TS	± 25 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Vanadin V	0.51	mg/kg TS	± 20 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Tenn Sn	0.09	mg/kg TS	± 40 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Zink Zn	130	mg/kg TS	± 15 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Kisel Si	3900	mg/kg TS	± 30 % B	ALC208:201; AAS (flamma)	L
Selen Se	<0.05	mg/kg TS	± 35 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Titan Ti	<11	mg/kg TS	± 20 %	NMKL161 mod.; ICP-AES	L

Bengt Axelsson

Analysansvarig

Enköpings Värmeverk AB
Sofia Ericson
Box 910
745 25 Enköping

Rapport utfärdad av
ackrediterat laboratorium

Report issued by
Accredited Laboratory



Journalnr	BE000681-04	Sida 1 (2)	
Kundnr	8438000-654257		
Provtyp	Bränsle, energi		
		Provtagningsdatum	2004-09-01
		Provet ankom	2004-08-31
		Analysrapport klar	2004-09-27
Provets märkning	Gran 2, inaskat		

Analysnamn	Resultat	Enhet	Mäto.	Ref/instr.	Ort
Kisel Si	10	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kiseloxid SiO ₂	21	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Aluminium Al	0.83	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Aluminiumoxid Al ₂ O ₃	1.6	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kalcium Ca	32	% Ts	± 20 %	SS028150-2	L
Kalciumoxid CaO	45	% Ts	± 20 %	SS028150-2	L
Järn Fe	0.43	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Järnoxid Fe ₂ O ₃	0.61	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kalium K	5.3	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kaliumoxid K ₂ O	6.4	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Magnesium Mg	1.8	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Magnesiumoxid MgO	3.0	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Mangan Mn	1.6	% Ts	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Manganoxid MnO ₂	2.5	% Ts	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Natrium Na	0.37	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Natriumoxid Na ₂ O	0.50	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Fosfor P	1.9	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Fosforoxid P ₂ O ₅	4.4	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Titan Ti	0.04	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Titanoxid TiO ₂	0.067	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Antimon Sb	<2.5	mg/kg TS	± 20 % B	EN 13656 mod.	L
Arsenik As	2.7	mg/kg TS	± 25 %	EN 13656 mod.	L
Bly Pb	46	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Barium Ba	2900	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Beryllium Be	<2.5	mg/kg Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kadmium Cd	<0.50	mg/kg Ts	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Kobolt Co	11	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Koppar Cu	91	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Krom Cr	37	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Kvicksilver Hg	<0.05	mg/kg Ts	± 25 %	SS028150-2	L
Molybden Mo	2.9	mg/kg Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Nickel Ni	58	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Vanadin V	9.7	mg/kg TS	± 25 %	EN 13656 mod.	L
Tenn Sn	2.6	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Zink Zn	3500	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
			± %		

Metallerna är syrauppslutna enligt SS028311.

Förklaring till förkortningar och *, se omstående sida.



Journalnr	BE000681-04	Sida 2 (2)
Kundnr	8438000-654257	
Provtyp	Bränsle, energi	

Analysnamn	Resultat	Enhet	Mäto.	Ref/instr.	Ort
Bor B	210	mg/kg Ts	15	SS028150-2	L

Bengt Axelsson

Analysansvarig

Enköpings Värmeverk AB
Sofia Ericson
Box 910
745 25 Enköping

Rapport utfärdad av
ackrediterat laboratorium

Report issued by
Accredited Laboratory



Journalnr	BE000682-04	Sida 1 (1)	
Kundnr	8438000-654257		
Provtyp	Bränsle, energi		
		Provtagningsdatum	2004-09-01
		Provet ankom	2004-08-31
		Analysrapport klar	2004-09-27
Provets märkning	Gran 3		

Analysnamn	Resultat	Enhet	Mäto.	Metod/ref	Ort
Fukthalt	42.0	%	± 6 %	SS 187170	L
Askhalt	2.5	% Ts	± 15 %	SS 187171	L
Klor Cl	0.01	% Ts	± 25 %	ASTM-D 4208	G
Svavel S	0.03	% Ts	± 10 %	ASTM-D 4239 C	L
Antimon Sb	<0.22	mg/kg TS	± 20 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Bor B	6.5	mg/kg TS	± 20 % B	ALC208:902; ICP-MS	L
Aluminium Al	150	mg/kg TS	± 25 %	ALC208:902; ICP-MS	L
Kalcium Ca	6600	mg/kg TS	± 15 %	NMKL161 mod.; ICP-AES	L
Järn Fe	140	mg/kg TS	± 20 %	NMKL161 mod.; ICP-AES	L
Kalium K	1400	mg/kg TS	± 10 %	NMKL161 mod.; ICP-AES	L
Magnesium Mg	580	mg/kg TS	± 15 %	NMKL161 mod.; ICP-AES	L
Mangan Mn	660	mg/kg TS	± 15 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Natrium Na	<54	mg/kg TS	± 30 %	NMKL161 mod.; ICP-AES	L
Arsenik As	<0.05	mg/kg TS	± 35 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Bly Pb	1.2	mg/kg TS	± 15 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Fosfor P	470	mg/kg TS	± 15 %	NMKL161 mod.; ICP-AES	L
Barium Ba	56	mg/kg TS	± 20 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Kadmium Cd	0.40	mg/kg TS	± 20 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Kobolt Co	0.29	mg/kg TS	± 15 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Koppar Cu	10	mg/kg TS	± 15 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Krom Cr	3.0	mg/kg TS	± 20 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Kvicksilver Hg	<0.02	mg/kg TS	± 30 %	NMKL170 mod.; AFS (kallf.)	L
Molybden Mo	0.11	mg/kg TS	± 35 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Nickel Ni	1.3	mg/kg TS	± 25 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Vanadin V	0.45	mg/kg TS	± 20 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Tenn Sn	<0.05	mg/kg TS	± 40 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Zink Zn	140	mg/kg TS	± 15 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Kisel Si	1800	mg/kg TS	± 30 % B	ALC208:201; AAS (flamma)	L
Selen Se	<0.05	mg/kg TS	± 35 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Titan Ti	<11	mg/kg TS	± 20 %	NMKL161 mod.; ICP-AES	L

Bengt Axelsson

Analysansvarig



Enköpings Värmeverk AB
Sofia Ericson
Box 910
745 25 Enköping

Rapport utfärdad av
ackrediterat laboratorium

Report issued by
Accredited Laboratory



Journalnr	BE000683-04	Sida 1 (2)
Kundnr	8438000-654257	
Provtyp	Bränsle, energi	
Provtagningsdatum 2004-09-01		
Provet ankom 2004-08-31		
Analysrapport klar 2004-09-27		
Provets märkning	Gran 3, inaskat	

Analysnamn	Resultat	Enhet	Mäto.	Ref/instr.	Ort
Kisel Si	6.3	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kiseloxid SiO ₂	13	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Aluminium Al	1.0	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Aluminiumoxid Al ₂ O ₃	1.9	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kalcium Ca	33	% Ts	± 20 %	SS028150-2	L
Kalciumoxid CaO	46	% Ts	± 20 %	SS028150-2	L
Järn Fe	0.49	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Järnoxid Fe ₂ O ₃	0.70	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kalium K	5.7	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kaliumoxid K ₂ O	6.9	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Magnesium Mg	2.0	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Magnesiumoxid MgO	3.3	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Mangan Mn	2.6	% Ts	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Manganoxid MnO ₂	4.1	% Ts	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Natrium Na	0.40	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Natriumoxid Na ₂ O	0.54	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Fosfor P	1.9	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Fosforoxid P ₂ O ₅	4.4	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Titan Ti	0.04	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Titanoxid TiO ₂	0.067	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Antimon Sb	<2.5	mg/kg TS	± 20 % B	EN 13656 mod.	L
Arsenik As	4.0	mg/kg TS	± 25 %	EN 13656 mod.	L
Bly Pb	44	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Barium Ba	2200	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Beryllium Be	<2.5	mg/kg Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kadmium Cd	2.8	mg/kg Ts	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Kobolt Co	13	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Koppar Cu	310	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Krom Cr	88	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Kvicksilver Hg	<0.05	mg/kg Ts	± 25 %	SS028150-2	L
Molybden Mo	6.8	mg/kg Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Nickel Ni	55	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Vanadin V	13	mg/kg Ts	± 25 %	EN 13656 mod.	L
Tenn Sn	<2.5	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Zink Zn	5300	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
			± %		

Metallerna är syrauppslutna enligt SS028311.

Förklaring till förkortningar och *, se omstående sida.

Journalnr	BE000683-04	Sida 2 (2)				
Kundnr	8438000-654257					
Provtyp	Bränsle, energi					

Analysnamn	Resultat	Enhet	Mäto.	Ref/instr.	Ort
Bor B	280	mg/kg Ts	15	SS028150-2	L

Bengt Axelsson

Analysansvarig

Enköpings Värmeverk AB
Sofia Ericson
Box 910
745 25 Enköping

Rapport utfärdad av
ackrediterat laboratorium

Report issued by
Accredited Laboratory



Journalnr	BE000684-04	Sida 1 (1)
Kundnr	8438000-654257	
Provtyp	Bränsle, energi	
Provtagningsdatum		2004-09-01
Provet ankom		2004-08-31
Analysrapport klar		2004-09-27
Provets märkning	Gran 4	

Analysnamn	Resultat	Enhet	Mäto.	Metod/ref	Ort
Fukthalt	28.7	%	± 6 %	SS 187170	L
Askhalt	2.2	% Ts	± 15 %	SS 187171	L
Klor Cl	<0.01	% Ts	± 25 %	ASTM-D 4208	G
Svavel S	0.02	% Ts	± 10 %	ASTM-D 4239 C	L
Antimon Sb	<0.22	mg/kg TS	± 20 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Bor B	5.9	mg/kg TS	± 20 % B	ALC208:902; ICP-MS	L
Aluminium Al	98	mg/kg TS	± 25 %	ALC208:902; ICP-MS	L
Kalcium Ca	6500	mg/kg TS	± 15 %	NMKL161 mod.; ICP-AES	L
Järn Fe	130	mg/kg TS	± 20 %	NMKL161 mod.; ICP-AES	L
Kalium K	1100	mg/kg TS	± 10 %	NMKL161 mod.; ICP-AES	L
Magnesium Mg	490	mg/kg TS	± 15 %	NMKL161 mod.; ICP-AES	L
Mangan Mn	390	mg/kg TS	± 15 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Natrium Na	<54	mg/kg TS	± 30 %	NMKL161 mod.; ICP-AES	L
Arsenik As	<0.05	mg/kg TS	± 35 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Bly Pb	1.5	mg/kg TS	± 15 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Fosfor P	220	mg/kg TS	± 15 %	NMKL161 mod.; ICP-AES	L
Barium Ba	40	mg/kg TS	± 20 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Kadmium Cd	0.26	mg/kg TS	± 20 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Kobolt Co	0.16	mg/kg TS	± 15 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Koppar Cu	4.5	mg/kg TS	± 15 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Krom Cr	1.6	mg/kg TS	± 20 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Kvicksilver Hg	<0.02	mg/kg TS	± 30 %	NMKL170 mod.; AFS (kallf.)	L
Molybden Mo	0.08	mg/kg TS	± 35 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Nickel Ni	0.84	mg/kg TS	± 25 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Vanadin V	0.39	mg/kg TS	± 20 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Tenn Sn	<0.05	mg/kg TS	± 40 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Zink Zn	140	mg/kg TS	± 15 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Kisel Si	<1100	mg/kg TS	± 30 % B	ALC208:201; AAS (flamma)	L
Selen Se	<0.05	mg/kg TS	± 35 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Titan Ti	<11	mg/kg TS	± 20 %	NMKL161 mod.; ICP-AES	L

Bengt Axelsson

Analysansvarig

Analysrapport

Lidköping

AnalyCen 

Enköpings Värmeverk AB
Sofia Ericson
Box 910
745 25 Enköping

Rapport utfärdad av
ackrediterat laboratorium

Report issued by
Accredited Laboratory



Journalnr	BE000685-04	Sida 1 (2)	
Kundnr	8438000-654257		
Provtyp	Bränsle, energi		
		Provtagningsdatum	2004-09-01
		Provet ankom	2004-08-31
		Analysrapport klar	2004-09-27
Provets märkning	Gran 4, inaskat		

Analysnamn	Resultat	Enhet	Mäto.	Ref/instr.	Ort
Kisel Si	2.5	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kiseloxid SiO ₂	5.4	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Aluminium Al	0.61	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Aluminiumoxid Al ₂ O ₃	1.2	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kalcium Ca	38	% Ts	± 20 %	SS028150-2	L
Kalciumoxid CaO	53	% Ts	± 20 %	SS028150-2	L
Järn Fe	0.45	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Järnoxid Fe ₂ O ₃	0.64	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kalium K	4.6	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kaliumoxid K ₂ O	5.6	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Magnesium Mg	2.1	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Magnesiumoxid MgO	3.5	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Mangan Mn	1.8	% Ts	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Manganoxid MnO ₂	2.8	% Ts	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Natrium Na	0.30	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Natriumoxid Na ₂ O	0.40	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Fosfor P	1.1	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Fosforoxid P ₂ O ₅	2.5	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Titan Ti	0.03	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Titanoxid TiO ₂	0.050	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Antimon Sb	<2.5	mg/kg TS	± 20 % B	EN 13656 mod.	L
Arsenik As	<2.5	mg/kg TS	± 25 %	EN 13656 mod.	L
Bly Pb	56	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Barium Ba	1800	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Beryllium Be	<2.5	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kadmium Cd	0.62	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Kobolt Co	8.2	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Koppar Cu	160	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Krom Cr	70	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Kviksilver Hg	<0.05	mg/kg TS	± 25 %	SS028150-2	L
Molybden Mo	4.0	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Nickel Ni	40	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Vanadin V	12	mg/kg TS	± 25 %	EN 13656 mod.	L
Tenn Sn	<2.5	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Zink Zn	6600	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
			± %		

Metallerna är syrauppslutna enligt SS028311.

Förklaring till förkortningar och *, se omstående sida.



Journalnr	BE000685-04	Sida 2 (2)
Kundnr	8438000-654257	
Provtyp	Bränsle, energi	

Analysnamn	Resultat	Enhet	Mäto.	Ref/instr.	Ort
Bor B	290	mg/kg Ts	15	SS028150-2	L

Bengt Axelsson

Analysansvarig

Analysrapport

Lidköping

Enköpings Värmeverk AB
Sofia Ericson
Box 910
745 25 Enköping

Rapport utfärdad av
ackrediterat laboratorium

Report issued by
Accredited Laboratory



Journalnr	BE000725-04	Sida 1 (1)
Kundnr	8438000-667866	
Provtyp	Bränsle, energi	
Provtagningsdatum		2004-09-28
Provet ankom		2004-09-28
Analysrapport klar		2004-10-21
Provets märkning	Gran 5 Prov 1	

Analysnamn	Resultat	Enhet	Mäto.	Metod/ref	Ort
Fukthalt	43.5	%	± 6 %	SS 187170	L
Askhalt	4.4	% Ts	± 15 %	SS 187171	L
Klor Cl	0.04	% Ts	± 25 %	ASTM-D 4208	G
Svavel S	0.07	% Ts	± 10 %	ASTM-D 4239 C	L
Antimon Sb	0.13	mg/kg TS	± 20 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Bor B	9.2	mg/kg TS	± 20 % B	ALC208:902; ICP-MS	L
Aluminium Al	190	mg/kg TS	± 25 %	ALC208:902; ICP-MS	L
Kalcium Ca	10700	mg/kg TS	± 15 %	NMKL161 mod.; ICP-AES	L
Järn Fe	300	mg/kg TS	± 20 %	NMKL161 mod.; ICP-AES	L
Kalium K	3600	mg/kg TS	± 10 %	NMKL161 mod.; ICP-AES	L
Magnesium Mg	830	mg/kg TS	± 15 %	NMKL161 mod.; ICP-AES	L
Mangan Mn	180	mg/kg TS	± 15 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Natrium Na	190	mg/kg TS	± 30 %	NMKL161 mod.; ICP-AES	L
Arsenik As	0.14	mg/kg TS	± 35 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Bly Pb	5.1	mg/kg TS	± 15 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Fosfor P	910	mg/kg TS	± 15 %	NMKL161 mod.; ICP-AES	L
Barium Ba	100	mg/kg TS	± 20 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Kadmium Cd	0.27	mg/kg TS	± 20 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Kobolt Co	0.34	mg/kg TS	± 15 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Koppar Cu	6.3	mg/kg TS	± 15 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Krom Cr	2.6	mg/kg TS	± 20 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Kviksilver Hg	0.03	mg/kg TS	± 30 %	NMKL170 mod.; AFS (kallf.)	L
Molybden Mo	0.14	mg/kg TS	± 35 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Nickel Ni	3.1	mg/kg TS	± 25 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Vanadin V	0.78	mg/kg TS	± 20 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Tenn Sn	0.08	mg/kg TS	± 40 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Zink Zn	94	mg/kg TS	± 15 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Kisel Si	2700	mg/kg TS	± 30 % B	ALC208:201; AAS (flamma)	L
Selen Se	0.09	mg/kg TS	± 35 %	NMKL161 mod.; ICP-MS	L
Titan Ti	15	mg/kg TS	± 20 %	NMKL161 mod.; ICP-AES	L

Bengt Axelsson

Analysansvarig

Analysrapport

Lidköping

Enköpings Värmeverk AB
Sofia Ericson
Box 910
745 25 Enköping

Rapport utfärdad av
ackrediterat laboratorium

Report issued by
Accredited Laboratory



Journalnr	BE000726-04	Sida 1 (2)
Kundnr	8438000-667866	
Provtyp	Bränsle, energi	
Provtagningsdatum		2004-09-28
Provet ankom		2004-09-28
Analysrapport klar		2004-11-12
Provets märkning	Gran 5 Prov 2 (inaskat prov)	

Analysnamn	Resultat	Enhet	Mäto.	Ref/instr.	Ort
Kisel Si	9.9	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kiseloxid SiO ₂	21	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Aluminium Al	0.76	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Aluminiumoxid Al ₂ O ₃	1.4	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kalcium Ca	27	% Ts	± 20 %	SS028150-2	L
Kalciumoxid CaO	38	% Ts	± 20 %	SS028150-2	L
Järn Fe	0.70	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Järnoxid Fe ₂ O ₃	1.0	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kalium K	8.4	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kaliumoxid K ₂ O	10	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Magnesium Mg	1.6	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Magnesiumoxid MgO	2.7	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Mangan Mn	0.61	% Ts	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Manganoxid MnO ₂	0.96	% Ts	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Natrium Na	0.64	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Natriumoxid Na ₂ O	0.86	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Fosfor P	2.0	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Fosforoxid P ₂ O ₅	4.6	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Titan Ti	0.05	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Titanoxid TiO ₂	0.084	% Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Antimon Sb	4.9	mg/kg TS	± 20 % B	EN 13656 mod.	L
Arsenik As	6.1	mg/kg TS	± 25 %	EN 13656 mod.	L
Bly Pb	150	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Barium Ba	2200	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Beryllium Be	<2.5	mg/kg Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Kadmium Cd	2.8	mg/kg Ts	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Kobolt Co	13	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Koppar Cu	180	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Krom Cr	58	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Kviksilver Hg	<0.05	mg/kg Ts	± 25 %	SS028150-2	L
Molybden Mo	3.3	mg/kg Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Nickel Ni	98	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
Vanadin V	18	mg/kg TS	± 25 %	EN 13656 mod.	L
Tenn Sn	1.8	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	L
Zink Zn	3000	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	L
			± %		

Metallerna är syrauppslutna enligt SS028311.

Förklaring till förkortningar och *, se omstående sida.

Journalnr	BE000726-04	Sida 2 (2)				
Kundnr	8438000-667866					
Provtyp	Bränsle, energi					

Analysnamn	Resultat	Enhet	Mäto.	Ref/instr.	Ort
Bor B	220	mg/kg Ts	15	SS028150-2	L

Bengt Axelsson

Analysansvarig